PRONTUARIO TECNICO

# UNI 10640

## Canne fumarie collettive ramificate per apparecchi di tipo B a tiraggio naturale. Progettazione e verifica.

**Descrittori: canna fumaria collettiva ramificata, camino, comignolo, progettazione, calcolo, verifica.**

**Classificazione ICS: 91.060.40**

**Sommario: la norma fissa i criteri per la progettazione e verifica delle dimensioni interne delle canne fumarie collettive ramificate per l'evacuazione dei prodotti della combustione di apparecchi di tipo B a tiraggio naturale.**

**Organo competente: CIG - Comitato Italiano Gas**

**Ratifica: Presidente dell'UNI, delibera del 21 maggio 1997**

## 1. Scopo e campo di applicazione

La presente norma prescrive i criteri per la progettazione e la verifica delle dimensioni interne delle canne fumarie collettive ramificate (CCR) di nuova installazione per l'evacuazione dei prodotti della combustione di più apparecchi a gas di tipo B sovrapposti, a tiraggio naturale, con interruttore di tiraggio, aventi portata termica nominale del focolare non maggiore di 35 kW.
Questo tipo di canna fumaria non si applica nel caso in cui le caldaie siano dotate di dispositivi meccanici per l'estrazione dei fumi.

## 2. Riferimenti normativi

UNI 7128 - Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione - Termini e definizioni.
UNI 7129 - Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione - Progettazione, installazione e manutenzione.
UNI 7131 - Impianti a gas di petrolio liquefatto per uso domestico non alimentati da rete di distribuzione - progettazione, installazione e manutenzione.
UNI 9615-1 - Calcolo delle dimensioni interne dei camini - Definizioni, procedimenti di calcolo fondamentali.
UNI 9731 - Camini - Classificazione in base alla resistenza termica - Misure e prove.

## 3. Termini e definizioni

Ai fini della presente norma valgono le definizioni riportate di seguito; per quanto riguarda le definizioni di carattere generale, inerenti l'argomento, si rimanda alle UNI 7128 e UNI 7129.

*3.1* Altezza del tratto terminale: distanza verticale tra l'immissione dell'ultimo secondario nel primario e la bocca della canna collettiva ramificata.

*3.2* Aria parassita: portata d'aria, che non partecipa alla combustione, aspirata attraverso l'interruttore di tiraggio nel canale da fumo.

*3.3* Bocca della canna collettiva ramificata: sezione di sbocco dei fumi nel comignolo.

*3.4* Canale da fumo: Condotto di raccordo posto tra l'uscita dei fumi dall'apparecchio e la canna collettiva ramificata.

*3.5* Canna fumaria collettiva ramificata (CCR): condotto asservito a più apparecchi installati su più piani di un edificio, realizzata solitamente con elementi prefabbricati che, per giusta sovrapposizione e giunzione, determinano una serie di canne singole (secondari), ciascuno dell'altezza di un piano, e un collettore (primario) nel quale defluiscono i prodotti della combustione provenienti dai secondari a mezzo di un elemento speciale che svolge la funzione di deviatore.

Beretta caldaie

*3.6* Carico termico di un apparecchio: rapporto tra la portata termica di funzionamento e la portata termica nominale.

*3.7* Comignolo (aspiratore statico): dispositivo posto alla bocca della CCR che deve permettere la dispersione dei prodotti della combustione nell'atmosfera.

*3.8* Condensa: prodotto liquido che si forma quando la temperatura dei fumi in qualche punto della CCR risulta minore del punto di rugiada.

*3.9* Diametro idraulico (diametro equivalente): Diametro del cerchio avente lo stesso rapporto tra l'area e il perimetro della sezione considerata.

*3.10* Eccesso d'aria: Differenza, in per cento, tra la quantità di aria introdotta nella camera di combustione e l'aria stechiometrica necessaria al combustibile.

*3.11* Funzionamento a secco: Condizioni in cui la temperatura della superficie della parete interna della CCR allo sbocco, nel funzionamento stazionario, è maggiore del punto di rugiada.

*3.12* Funzionamento a umido: Condizioni in cui la temperatura della superficie della parete interna della CCR allo sbocco, nel funzionamento stazionario è minore del punto di rugiada dei fumi, ma maggiore del punto di congelamento.

*3.13* Parete interna: Parete della CCR in contatto con i fumi.

*3.14* Perdite di carico dell'apparecchio (tiraggio necessario per l'apparecchio): Differenza di pressione tra la pressione statica dell'aria nel luogo di installazione dell'apparecchio e la pressione statica dei fumi nel condotto di scarico immediatamente a valle dell'interruttore di tiraggio, necessaria per il funzionamento normale dell'apparecchio stesso.

*3.15* Perdite di carico per l'ingresso dell'aria (tiraggio necessario per l'aria): Differenza tra le pressioni statiche dell'aria esterna ed interna nel luogo di installazione dell'apparecchio.

*3.16* Portata di gas combustibile (consumo): Volume di gas secco transitato o consumato nell'unità di tempo.

*3.17* Portata massica dei fumi: Massa dei fumi da scaricare nell'unità di tempo

*3.18* Portata termica nominale (potenza termica nominale del focolare): Valore della portata termica indicata dal costruttore dell'apparecchio.

*3.19* Potenza termica utile: Portata termica diminuita del calore perso al camino.

*3.20* Pressione effettiva (tiraggio effettivo): Differenza di pressione alla medesima quota tra esterno ed interno della CCR: È determinata dalla pressione statica in un punto diminuita della variazione di pressione per resistenze al moto nel camino a valle di quel punto.

*3.21* Pressione statica (tiraggio statico): Differenza di pressione che si genera in condizioni statiche a causa della differenza di massa volumica tra due colonne, rispettivamente di aria esterna e di fumi, aventi la stessa altezza.

*3.22* Prodotti della combustione: Insieme dei prodotti della combustione di un gas e dell'aria comburente in eccesso.

*3.23* Quota di sbocco: quota corrispondente alla sommità della CCR, indipendentemente dal comignolo.

*3.24* Rendimento: Rapporto tra la potenza termica utile e la portata termica.

*3.25* Resistenza termica di parete: Resistenza al trasporto di calore attraverso la o le pareti della CCR.

*3.26* Sezioni idraulicamente equivalenti: Sezioni che hanno lo stesso diametro idraulico.

*3.27* Stato di carico dell'impianto: Insieme dei valori del carico termico di ogni apparecchio.

*3.28* Tipo di sezione: Forma della sezione della CCR e dei canali di fumo.

*3.29* Tiraggio naturale: Tiraggio determinato in una CCR per effetto della differenza di massa volumica esistente tra i fumi (caldi) e l'aria atmosferica esterna, senza che nessun mezzo meccanico di aspirazione sia installato nell'impianto.

## 4. Simboli, grandezze e unità di misura

| Grandezza | Simbolo | Unità di misura |
|---|---|---|
| Area della sezione | A | $m^2$ |
| Capacità termica massima | c | J/(kg K) |
| Coefficiente caratteristico dei prodotti della combustione | C | K |
| Diametro, diametro idraulico | D, $D_h$ | m |
| Eccesso d'aria | e | - |
| Variazione del valore di pressione tra due iterazioni successive | EP | Pa |
| Accelerazione di gravità | g | $m/s^2$ |
| Altezza | H | m |
| Altezza geodetica | HG | m |
| Coefficiente globale di scambio termico | k | $W/(m^2 K)$ |
| Fattore di raffreddamento dei fumi | KR | - |
| Lunghezza | L | m |
| Portata massima | M | kg/s |
| Viscosità dinamica | Mu | Pa s |
| Numero piani dello stabile | np | - |
| Numero piani collegati alla CCR | nc | - |
| Numero di strati costituenti il secondario | nS | - |
| Portata termica | N | W |
| Numero di Nusselt | Nu | - |
| Pressione, perdita di carico | P | Pa |
| Rugosità media | r | m |
| Costante dei gas | R | J/(kg K) |
| Numero di Reynolds | Re | - |
| Rapporto tra superfici | RS | - |
| Resistenza termica | RT | $(m^2 K)/W$ |
| Dimensione sezione primario/secondario | SA, SB | m |
| Fattore di sicurezza fluidodinamico | SE | - |
| Fattore di correzione per temperatura non costante | SH | - |
| Temperatura | T | K |
| Temperatura di progetto | TP | K |
| Perimetro della sezione | U | m |
| Velocità | W | m/s |
| Coefficiente di forma | Y | - |
| Coefficiente liminare | $\alpha$ | $W/(m^2 K)$ |
| Differenza di pressione | $\Delta P$ | Pa |
| Rendimento | $\eta$ | - |
| Conduttività termica | $\lambda$ | W/(m K) |
| Coefficiente di perdita localizzata | $\zeta$ | - |
| Massa volumica | $\rho$ | $kg/m^3$ |
| Fattore di attrito | $\psi$ | - |
| Frazione di superficie perimetrale esposta all'esterno | $\omega$ | - |

***Pedici***

a = ambiente esterno
c = combustione
C = canale da fumo
d = interruttore di tiraggio
e = esterno
f = dei fumi
g = globale
G = apparecchio
i = interno
I = flusso in ingresso
j = indice del piano
k = indice di sommatoria
m = medio
max = massimo
min = minimo
N = nominale
° = grandezza riferita a condizioni normalizzate (p = 1 013,25 mbar, t= 15 °C)
P = primario
p = a pressione costante
q = comignolo
r = effettivo
R = di riferimento
s = statica
S = secondario
t = totale
u = tratto terminale
U = flusso in uscita

# 5 Caratteristiche generali

## *5.1 Canne collettive ramificate, CCR*

Le CCR, oggetto della presente norma, costituiscono un "sistema unico" per l'evacuazione dei fumi provenienti da più apparecchi ad esse collegate. Eventuali sostituzioni di apparecchi, di componenti e/o modifica del sistema possono alterare le condizioni di funzionamento e comportare pericoli per gli utenti del sistema stesso.

*Nota: Il regolamento condominiale dovrebbe individuare una figura responsabile (per esempio l'amministratore o una figura tecnica da esso indicata) cui far riferimento per tutte le operazioni di manutenzione e/o modifica del sistema in modo tale che siano mantenute le condizioni progettuali secondo quanto stabilito dalla presente norma.*

Una CCR deve avere le seguenti caratteristiche:

- essere a tenuta dei prodotti della combustione, impermeabile agli stessi e termicamente isolata, secondo quanto prescritto dalle specifiche norme di prodotto;
- essere realizzata con materiali adatti a resistere nel tempo alle normali sollecitazioni meccaniche, al calore ed all'azione dei prodotti della combustione e delle loro eventuali condense, secondo quanto prescritto dalle specifiche norme di prodotto;
- avere andamento perfettamente rettilineo e verticale ed essere priva di qualsiasi strozzatura in tutta la sua lunghezza;
- essere adeguatamente coibentata per evitare fenomeni di congelamento (nel caso di funzionamento a umido) o di condensa (nel caso di funzionamento a secco);
- essere adeguatamente distanziata, mediante intercapedine d'aria o isolanti opportuni, da materiali combustibili. Particolare attenzione deve essere posta nei confronti di attraversamenti di locali o zone con presenza di sostanze facilmente infiammabili;
- sia per il condotto secondario che per quello primario, avere sezione interna di forma circolare, quadrata o rettangolare. In questi ultimi due casi gli angoli devono essere arrotondati con raggio non minore di 20 mm. Sezioni idraulicamente equivalenti sono ammesse purchè il rapporto tra il lato maggiore e quello minore del rettangolo, circoscritto alla sezione stessa, non sia maggiore di 1,5;
- essere sempre dotata alla sommità di un comignolo, avente le caratteristiche di cui in 5.2, che, per le sue particolari caratteristiche, funzioni anche da aspiratore statico;
- essere priva di qualsiasi mezzo ausiliario di aspirazione e mandata posto in corrispondenza delle immissioni ai vari piani; è vietato l'impiego di mezzi meccanici di aspirazione posti alla sommità del condotto;
- ai condotti secondari devono essere allacciati solo apparecchi alimentati con il medesimo combustibile, del medesimo tipo e con portate termiche nominali che non differiscono di oltre il 30% in meno rispetto alla massima portata termica nominale allacciabile; lo scarico delle esalazioni delle cappe aspiranti delle cucine deve avere una canna collettiva ramificata o camini singoli adibiti solo a tale uso;
- deve essere allacciato un solo apparecchio per piano;
- il numero di piani servibili della CCR deve essere rapportato alla effettiva capacità di evacuazione del collettore (primario) e delle immissioni provenienti dai relativi condotti secondari. Qualora l'ultimo condotto secondario del sistema corrisponda anche all'ultimo piano dell'edificio servito, questo deve

scaricare direttamente nell'atmosfera, tramite lo stesso comignolo, senza immettersi nel collettore (primario). Il collettore (primario) non deve comunque ricevere più di 5 immissioni dai relativi condotti secondari (figura 1). Una CCR può pertanto servire un massimo di 6 piani (5+1) in quanto l'ultimo condotto secondario scarica direttamente in atmosfera. Nel caso si tratti di edifici con un numero di piani maggiore di 6 devono essere installate due o più CCR, previa verifica delle condizioni dello scarico dei fumi;

- il condotto secondario della CCR deve avere, per tutti i piani, un'altezza almeno pari all'altezza di un piano ed entrare nel collettore con elemento deviatore avente un angolo non minore di 135° rispetto all'asse verticale. Il diametro idraulico del secondario non deve mai essere minore di 12 cm, né maggiore della sezione del primario;
- i condotti secondari devono avere, al di sotto dell'imbocco di ogni canale da fumo, una camera di raccolta di eventuali materiali solidi, avente altezza di 20 a 30 cm. Nel caso in cui la CCR sia esterna all'edificio e non abbia alcun lato adiacente alla struttura muraria perimetrale, tale camera di raccolta può non essere prevista. Devono tuttavia essere previsti accorgimenti tecnici, atti a impedire la penetrazione di corpi estranei all'interno del condotto secondario;
- alla base del collettore la CCR deve avere una camera di raccolta di altezza minima di 50 cm. L'accesso a detta camera deve essere garantito mediante aperture munite di sportello metallico di chiusura a tenuta d'aria;
- nel caso di funzionamento a umido, deve essere previsto lo scarico delle condense dal collettore in accordo con quanto previsto dalle normative per la tutela delle acque dall'inquinamento;
- il canale da fumo, che unisce l'apparecchio utilizzatore alla CCR, deve immettersi nel condotto secondario immediatamente sopra la camera di raccolta del secondario se esistente;
- i moduli del condotto secondario predisposti per l'imboccatura del canale da fumo devono riportare in modo evidente ed in una parte non asportabile ( per esempio sulla ghiera metallica) il tipo di canna, l'utilizzo per cui è idonea e gli apparecchi collegabili;
- l'altezza del tratto terminale deve essere non minore di 3 m;
- nella CCR non si deve verificare alcuna sovrimpressione, salvo per un breve transitorio di avviamento dell'apparecchio (indicativamente per periodi non maggiori di 60 s);
- la progettazione ed il dimensionamento devono tenere conto dei dati specifici relativi alla installazione degli apparecchi ed alla ubicazione dell'edificio;
- la CCR deve essere dotata di un libretto, riportante le modalità di installazione, d'uso e manutenzione forniti dal costruttore, con copia del progetto allegata.

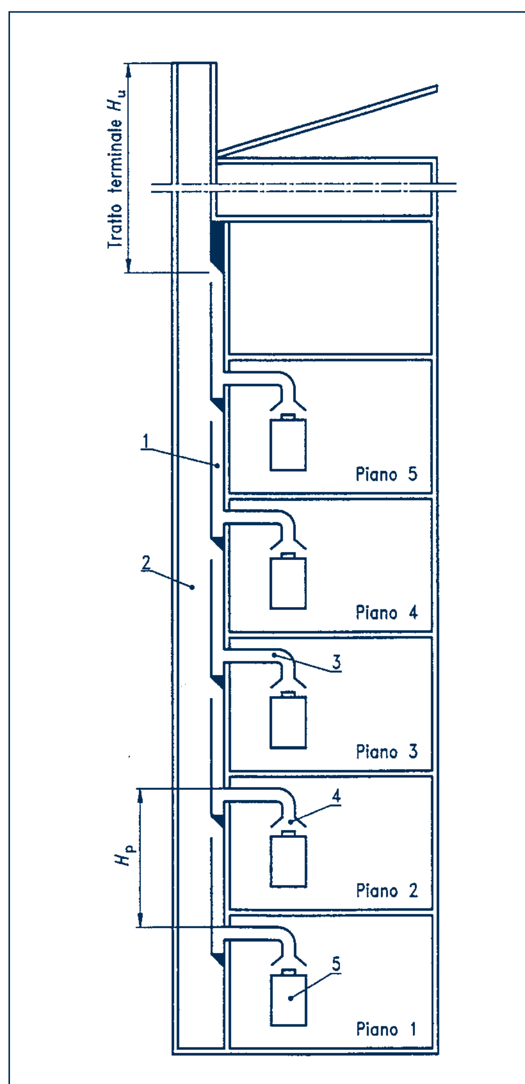



*Fig. 1 - Canna fumaria collettiva ramificata (CCR)*

Legenda - 1 Secondario
2 Primario
3 Canale da fumo
4 Interruttore di tiraggio
5 Generatore di calore

### *5.2. Comignoli*

Un comignolo, posto alla sommità di una CCR deve avere le seguenti caratteristiche:

- facilitare la dispersione dei prodotti della combustione anche con condizioni atmosferiche avverse ed impedire la deposizione di corpi estranei (per esempio di nidi);
- sezione utile di uscita non minore del doppio della somma di quella del primario e dell'eventuale secondario ad esso affiancato, sul quale è inserito;
- conformazione tale da impedire la deposizione nella CCR della pioggia e della neve;
- costruzione tale che venga sempre assicurato lo scarico dei prodotti della combustione, anche in caso di venti di ogni direzione ed inclinazione;
- quota di sbocco realizzata in conformità alla UNI 7129.

# 6 Procedimento di calcolo - Criteri fondamentali

### *6.1 Generalità*

Il procedimento è di validità generale e consente di calcolare le condizioni termofluidodinamiche che si determinano all'esterno di una CCR per qualsiasi stato di carico dell'impianto, date le caratteristiche ambientali dell'area in cui si trova la CCR, le grandezze geometriche e fisiche che la caratterizzano nonché quelle degli apparecchi ad essa collegati.
In ogni punto di raccordo tra vari condotti negli imbocchi dei canali da fumo immediatamente a valle dell'interruttore di tiraggio e nello/negli sbocco/ i in atmosfera (nodo, vedere figura 3) si ha che:
- dove confluiscono portate massiche di fluidi valgono le relazioni:

$$\Sigma M_U = SM_I \quad [1] \qquad e \qquad \Sigma (M_U \cdot cp_U \cdot T_U) = \Sigma (M_I \cdot cp_I \cdot T_I) \quad [2]$$

- la pressione effettiva calcolata all'ingresso di un canale da fumo in un secondario risulta dalla somma del contributo al tiraggio effettivo del secondario considerato e del relativo canale da fumo, più i contributi al tiraggio effettivo di tutti i tronchi di primario al di sopra di esso.

Il procedimento deve essere sviluppato calcolando:

- i bilanci di massa e dell'energia partendo dal primo piano in basso fino all'ultimo piano in alto,
- i contributi al tiraggio effettivo in ogni tronco,
- i tiraggi effettivi in ogni nodo.

### *6.2 Relazioni e grandezze fondamentali per il calcolo*

#### *6.2.1 Grandezze relative all'ambiente esterno*

*6.2.1 Temperatura dell'aria, Ta=293,15.*
Si utilizza per la verifica del tiraggio. Per le verifiche della temperatura e della velocità dei fumi, vedere 8.2 e 8.3.

*6.2.1.2 Altezza geodetica, HG*
Questa altezza, riferita al livello del mare, determina la pressione atmosferica da utilizzare per il calcolo.

*6.2.1.3 Pressione atmosferica, Pa*
Si ottiene tenendo conto della quota geodetica come indicato nel prospetto 4 della UNI 9615-1.

*6.2.1.4 Massa volumica dell'aria, $\rho a$*
Si utilizza la legge dei gas perfetti:

$$\rho a = \frac{Pa}{R \cdot Ta} \quad [3]$$

dove: R è la costante di elasticità dell'aria, pari a 288 J/(KgK)

#### *6.2.2 Grandezze relative alla combustione*

*6.2.2.1 Portata termica nominale, $N_{GN}$* - Dato che viene fornito dal costruttore dell'apparecchio.

*6.2.2.2 Portata termica minima, $N_G$* - È la frazione minima possibile della $N_{GN}$ e viene indicata dal costruttore dell'apparecchio.

*6.2.2.3. Potere calorifico inferiore, $H_i$* - Valore medio del gas distribuito.

*6.2.2.4. Rendimento, $\eta$* - Fornito dal costruttore dell'apparecchio alle varie condizioni di funzionamento.

*6.2.2.5. Eccesso d'aria ,* e - Fornito dal costruttore dell'apparecchio alle varie condizioni di funzionamento.

*Nota: Le grandezze indicate nel presente punto sono necessarie per calcolare i parametri di cui in 6.2.3 qualora essi non siano noti.*

#### *6.2.3. Grandezze termofluidodinamiche dei fumi*

*6.2.3.1 Composizione percentuale sul volume, % $CO_2$, % $O_2$.*
Nel caso in cui non sia fornita dal costruttore dell'apparecchio alle varie condizioni di funzionamento, utilizzare il prospetto 1 della presente norma.

*6.2.3.2 Portata massica all'uscita dell'apparecchio, $M_{fUG}$*
Nel caso in cui non sia fornita dal costruttore dell'apparecchio alle varie condizioni di funzionamento, utilizzare il prospetto 1 della presente norma.

*6.2.3.3 Temperatura all'uscita dall'apparecchio, $T_{fUG}$*
Nel caso in cui non sia fornita dal costruttore dell'apparecchio alle varie condizioni di funzionamento, utilizzare il prospetto 1 della presente norma.

*6.2.3.4 Le seguenti tre grandezze sono in funzione della temperatura media del fluido e della sua composizione.*

a) Capacità termica massica a pressione costante, $c_{pf}$
Qualora questo dato non sia noto vedere UNI 9615-1, figura 12.

b) Viscosità dinamica, $M_{Uf}$
Dipende dalla temperatura media dei fumi. Per la viscosità cinematica vedere UNI 9615-1 figura 15. La viscosità dinamica si ottiene da quella cinematica moltiplicandola per la massa volumica media.

c) Conduttività termica dei fumi, $\lambda_f$
Dipende dalla temperatura media dei fumi (vedere UNI 9615-1, figura 14)

### *6.2.4 Grandezze relative al sistema di evacuazione dei fumi (canali da fumo e canna collettiva ramificata)*

*6.2.4.1 Numero di piani dell'edificio, $n_p$*
Numero di piani di cui è costituito l'edificio.

*6.2.4.2 Numero di piani collegati, nc*
Il primario di una CCR può raccogliere al massimo gli scarichi di 5 apparecchi (figura 1).
Se np è maggiore di 6 è necessario installare più di una CCR (vedere 5.1).

*6.2.4.3 Altezza del tratto terminale, $H_u$*
Vedere 3.1. Deve essere sempre garantita la condizione: $H_u \geq 3{,}0$ m (vedere figura 1):

*6.2.4.4 Area della sezione, A*
Rappresenta la sezione netta di passaggio dei fumi. Se la sezione è circolare o rettangolare può essere determinata come segue (vedere figura 2):

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \qquad [4]$$ dove D è il diametro;

oppure $$A = SA \cdot SB \qquad [5]$$ dove SA e SB sono i lati.

*6.2.4.5 Perimetro della sezione, U*
Si riferisce alla superficie effettivamente interessata dal fenomeno considerato. Se la sezione è circolare o rettangolare può essere determinata come segue:

$$U = \pi D \quad [6] \qquad o \qquad U = 2\,(SA+SB) \quad [7]$$

*6.2.4.6 Diametro idraulico, $D_h$*
Il diametro idraulico è dato da:

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{U} \qquad [8]$$

*6.2.4.7 Resistenza termica di parete, RT*
Deve essere determinata per regime stazionario e con riferimento alla temperatura media della parete interna. Se non sono disponibili certificati o dati forniti dal costruttore della CCR secondo la UNI 9731 ed è nota la resistenza termica di parete dei singoli strati, per una parete multistrato può essere calcolata come segue ( si numerino gli strati dall'interno verso l'esterno):

$$RT = D_h \cdot \sum_{k=1}^{nS} (RT_k / D_{hk}) \qquad [9]$$

dove:

- nS è il numero di strati costituenti la parete in questione;
- $RT_k$ è la resistenza termica di parete dello strato k;
- $D_h$ è il diametro idraulico interno;
- $D_{hk}$ è il diametro idraulico della superficie interna dello strato k.

*6.2.4.8 Coefficiente liminare esterno, $\alpha_e$*
Se la CCR è disposta internamente all'edificio porre $\alpha_e = \alpha_{e,min} = 8{,}0$; se la CCR è disposta esternamente all'edificio porre $\alpha_e = \alpha_{e,max} = 23{,}0$.

Nel caso in cui la CCR sia parzialmente esposta all'esterno:

$$\alpha_e = RS\alpha_{e,max} + (1\text{-}RS)\alpha_{e,min} \qquad [10]$$

dove RS è il rapporto tra la superficie perimetrale esposta all'esterno e la superficie perimetrale totale.

*6.2.4.9 Rugosità media, r* - Deve essere fornita dal costruttore della CCR. Nel caso essa non sia nota utilizzare il prospetto 2 della UNI 9615-1.

*6.2.4.10 Altezza di un piano, $H_p$* - È la distanza verticale tra due immissioni successive (vedere figura 1).

*6.2.4.11 Area netta interruttore di tiraggio, $A_d$* - È fornita dal costruttore dell'apparecchio.

*6.2.4.12 Coefficiente perdita localizzata all'interruttore di tiraggio, $\zeta_d$*
Qualora non sia disponibile alcun valore assumere $\zeta_d$=2.

6.2.4.13 Sezione netta dell'apertura di ventilazione, $A_l$ Vedere UNI 7129.

6.2.4.14 Coefficiente di perdita localizzata dell'apertura di ventilazione, $\zeta_l$
Qualora non sia disponibile un valore per questo coefficiente si può utilizzare il valore ricavato dalla relativa tabella dell'appendice A (informativa).

*6.2.4.15 Coefficiente di perdita localizzata dovuta alla presenza del comignolo, $\zeta_q$*
È fornito dal costruttore. Qualora non sia disponibile nessun valore si può utilizzare il valore ricavato dalla relativa tabella dell'appendice A (informativa) o dalla lettura tecnica.

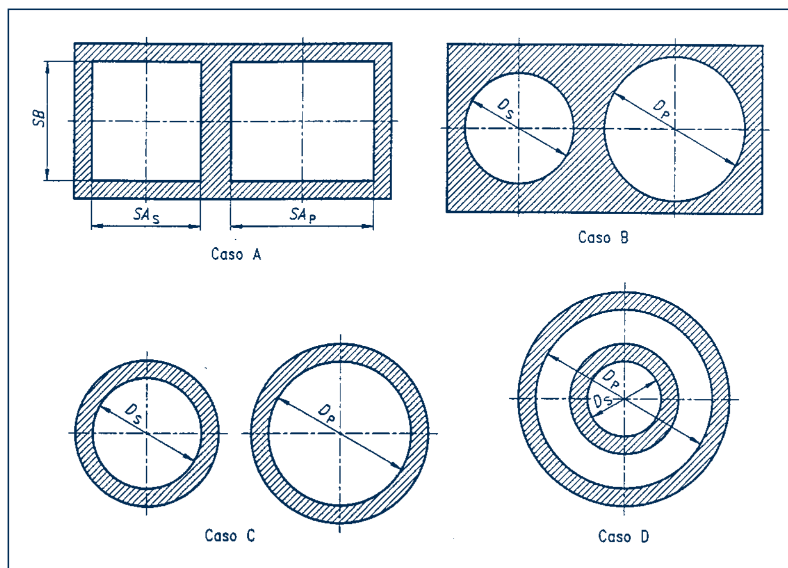



*Fig. 2 - Tipi di sezione della CCR*

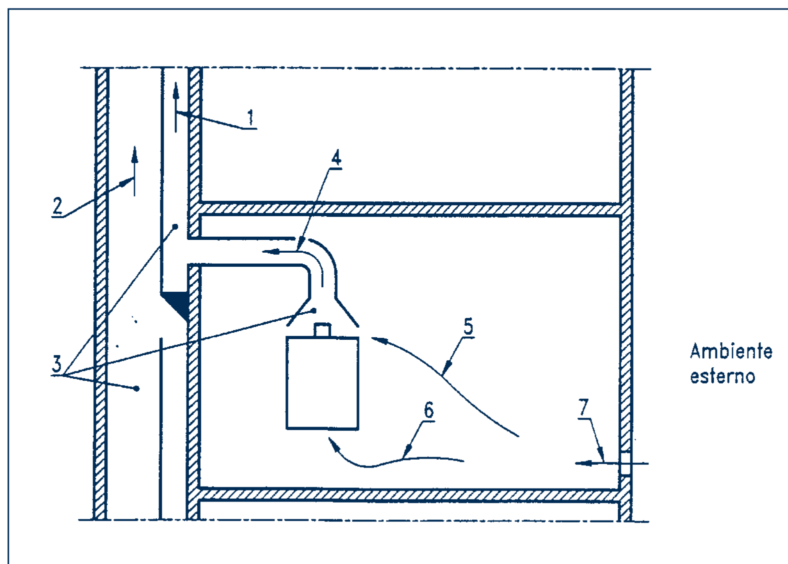



*Fig. 3 - Schema di un piano dell'impianto fumario*

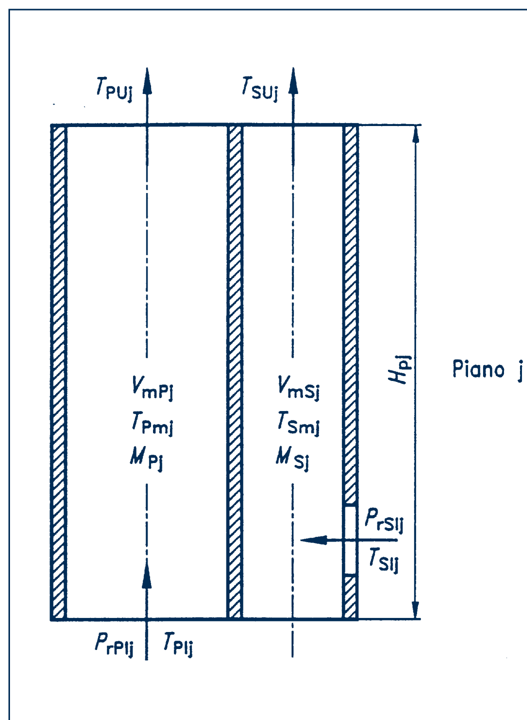
Legenda
1 Fumi nel secondario
2 Fumi nel primario
3 Nodi
4 Fumi nel canale da fumo
5 Aria parassita
6 Aria di combustione
7 Aria esterna

Beretta caldaie

## 7 Procedimento di calcolo

Dal calcolo iterativo si ottengono (figura 4) i seguenti risultati:
- in ogni nodo: i valori della pressione e della temperatura,
- in ogni tratto tra i due nodi: i valori medi della temperatura, della massa volumica e della velocità dei fumi.

*Fig. 4 - Schematizzazione dei flussi in un tratto di CCR*




In ogni nodo ogni iterazione è composta dalle due fasi seguenti:
*Fase 1.* Calcolare i parametri partendo dal nodo più basso fino allo sbocco in atmosfera.
- ad ogni interruttore di tiraggio (portata massica di aria parassita).
Alla prima iterazione si assume una portata nulla ($M_a$=0) oppure pari a una frazione della portata massica dei prodotti della combustione:

$$M_a = \chi_a M_{fUG} \qquad [11] \qquad \text{in cui} \qquad \chi_a < 0,5.$$

Nelle iterazioni successive per ogni piano si calcola come segue:

$$M_a = \frac{-M_{fUG} \cdot t_l + \sqrt{P_d \cdot (t_l + t_d) - t_l \cdot t_d \cdot M_{fUG}^2}}{t_l + t_d} \qquad [12]$$

$$\text{dove: } t_l = \frac{\zeta_l}{2 \cdot \rho_a \cdot A_l^2} \quad [13] \qquad t_d = \frac{\zeta_d}{2 \cdot \rho_a \cdot A_d^2} \quad [14]$$

in cui:
$\zeta_l$ è il coefficiente di perdita localizzata per l'ingresso dell'aria nel locale;
$\zeta_d$ è il coefficiente di perdita localizzata per l'ingresso dell'aria attraverso l'interruttore di tiraggio;
$P_d$ è la pressione effettiva all'interruttore di tiraggio (Pa): è pari alla pressione effettiva all'ingresso del canale da fumo ($P_{rIC}$) calcolata secondo la [35].

Deve essere: $P_d \geq M_{fUG}^2 \, t_l$ [15]

Il valore $M_a$* può essere utilizzato direttamente nei calcoli seguenti.

*Nota: Per ridurre il numero di iterazioni da effettuare per raggiungere la convergenza adottare il valore:*

$$M_a = \gamma_{ma} M_{a0} + (1-\gamma_{ma}) M_a \qquad [16]$$

dove: $M_a$* è il valore ottenuto applicando la [12]; $M_{a0}$ è il valore di $M_a$ utilizzato nell'iterazione precedente;

$$0 \leq \gamma_{ma} \leq 1$$

- in ogni canale da fumo
- portata massica dei fumi dopo l'interruttore di tiraggio (si utilizza la [20]);
- temperatura dei fumi dopo l'interruttore di tiraggio (si utilizza la [21] in cui, nel caso di apparecchio posto in un locale riscaldato, porre la temperatura dell'aria parassita pari a quella del locale, altrimenti utilizzare la temperatura dell'aria [$T_a$]);
- massa volumica media dei fumi (si utilizza la [22]);
- velocità media dei fumi (si utilizza la [23]);
- temperatura fumi in uscita (si utilizza la [32]);
- temperatura media fumi (si utilizza la [33]);

- in ogni secondario
- portata massica di fumi (uguale a quella nel canale da fumo);
- temperatura dei fumi all'ingresso (uguale a quella all'uscita dal canale da fumo)
- massa volumica media dei fumi (si utilizza la [22]);

*Nota: Non essendo ancora noto il valore della temperatura media dei fumi ($T_{fm}$) alla prima iterazione si può imporre:*

$$T_{fm} = T_{fI} \qquad [17]$$

dove $T_{fI}$ è la temperatura dei fumi all'ingresso.

• velocità media dei fumi (si utilizza la [23])
• temperatura dei fumi in uscita (si utilizza la [32])
• temperatura media dei fumi (si utilizza la [33]).

- in ogni tronco di primario
• nei calcoli riguardanti le grandezze del primario, per il primo tronco (a monte della prima immissione, vedere figura 1) porre:

$$M_{fP1}=0 \qquad [18] \qquad T_{fmP1}=T_{fUP1}=T_a \qquad [19]$$

dove:

$Mf_{P1}$ è la portata massica dei fumi nel primo tronco di primario,

$Tf_{P1}$ è la temperatura dei fumi nel primo tronco di primario;

• portata massica dei fumi (si utilizza la [20]);
• temperatura fumi ingresso (si utilizza la [21]);
• massa volumica media dei fumi (si utilizza la [22]);
• velocità media dei fumi (si utilizza la [23]);
• temperatura dei fumi in uscita (si utilizza la [32]);
• temperatura media dei fumi (si utilizza la [33]).

*Fase 2.* Calcolare i tiraggi effettivi in ogni nodo ripercorrendo la CCR a ritroso dallo sbocco fino al nodo più lontano:
• pressione statica all'imbocco del secondario nel primario (si utilizza la [34]);
• perdite di carico per resistenze fluidodinamiche nel primario (si utilizza la [26])
• pressione effettiva all'imbocco del secondario nel primario (si utilizza la [35])
• pressione statica all'imbocco del canale da fumo nel secondario (si utilizza la [34]);
• perdite di carico per resistenze fluidodinamiche nel secondario (si utilizza la [26]);
• pressione effettiva all'imbocco del canale da fumo nel secondario (si utilizza la [35]);
• pressione statica all'imbocco nel canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) (si utilizza la [34]);
• perdite di carico per resistenze fluidodinamiche nel canale da fumo (si utilizza la [26]);
• pressione effettiva all'imbocco nel canale da fumo a valle dell'interruttore di tiraggio (si utilizza la [35]);
• massima variazione, tra due iterazioni successive, della pressione effettiva all'imbocco nel canale da fumo a valle dell'interruttore di tiraggio (si utilizza la [38]);.

Determinata la massima variazione di pressione effettiva all'imbocco del canale da fumo a valle dell'interruttore di tiraggio, calcolata tra due iterazioni successive, si effettua la prova di cui alla [39]. Qualora detta massima variazione di pressione sia maggiore del valore ammissibile stabilito dalla presente norma (0,1 Pa) si deve ripetere, nella sequenza, il calcolo delle grandezze sopraelencate (portate, temperature, pressioni, velocità, ecc.) introducendo dove sono cambiati, i nuovi valori delle grandezze. Qualora la [39] sia verificata, le grandezze calcolate all'ultima iterazione possono essere ritenute, con approssimazione sufficiente per lo scopo della presente norma, quelle di effettivo funzionamento della CCR in esame. Si può quindi procedere con le verifiche di cui in 8.1,8.2 e 8.3.

### *7.1 Portata massica e temperatura dopo la confluenza di due flussi*

*7.1.1 Portata massica di fumi dopo una confluenza,* $M_{fU}$
È data dalla somma delle portate massiche dei fumi in arrivo:

$$M_{fU} = M_{f1} + M_{f2} \qquad [20]$$

*7.1.2 Temperatura dei fumi dopo la confluenza,* $T_U$
Deve essere calcolata per tentativi. Mediante il bilancio dell'energia si determina il valore della temperatura dei fumi:

$$T_U = \frac{M_{f1} \cdot c_{pf1} \cdot T_{f1} + M_{f2} \cdot c_{pf2} \cdot T_{f2}}{M_{fU} \cdot c_{pU}} \qquad [21]$$

dove:

$T_{f1,2}$ sono le temperature dei fumi in arrivo alla confluenza;

$M_{f1,2}$ sono le portate massiche dei fumi in arrivo;

$c_{pf1,2}$ sono le capacità termiche massiche a pressione costante dei fumi in arrivo alla confluenza;

$c_{pU}$ è la capacità termica massica a pressione costante dei fumi dopo la confluenza.

*Nota: Al primo tentativo si può adottare per la temperatura dei fumi dopo la confluenza ($T_U$) il valore ottenuto dalla media delle temperature in ingresso pesata rispetto alle portate massiche. In base al valore di tentativo $T_U$ si determina la capacità termica massica dei fumi ($cp_U$). Si ripete il calcolo fino a trovare un valore di TU che differisce dal precedente di un valore minore di quello massimo prefissato (0,5° C).*

### *7.2 Perdita di carico per resistenze fluidodinamiche in un tratto rettilineo di condotto*

7.2.1 Massa volumica media, ρm

Si utilizza la legge dei gas perfetti e si approssima la pressione media del canale da fumo con quella atmosferica:

$$\rho m = \frac{P_a}{T_m \cdot R} \qquad [22]$$

dove:

$P_a$ è la pressione atmosferica;

$T_m$ è la temperatura media del fluido (qualora tale valore non sia ancora stato calcolato si adotti inizialmente una frazione ragionevole del valore iniziale della temperatura e si ripeta poi il calcolo con il valore trovato secondo la [33]);

R è la costante di elasticità di ogni gas (pari a 300 J/Kg K per i prodotti della combustione stechiometrica).

*7.2.2 Velocità media, $W_m$*

Per ogni tratto rettilineo è determinata dalla relazione seguente:

$$W_m = \frac{M}{\rho_m \cdot A} \qquad [23]$$

dove:

M è la portata massica del fluido nel condotto;

$\rho_m$ è la massa volumica media del fluido calcolata secondo la [22];

A è l'area della sezione netta di passaggio.

### *7.2.3 Fattore di attrito in un tratto di condotto, ψ*

Si determina utilizzando la formula di Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\psi}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2{,}51}{Re \cdot \sqrt{\psi}} + \frac{r}{3{,}71 \cdot D_h}\right) \qquad [24]$$

dove:

r è la rugosità media del condotto;

$D_h$ è il diametro idraulico del condotto (calcolato secondo la [8] in cui, nel caso si tratti di condotti coassiali, sarà necessario tener conto di tutte le superfici lambite dai fumi);

$R_e$ è il numero di Reynolds determinato come segue:

$$Re = \frac{\rho_m \cdot D_h \cdot W_m}{Mu} \qquad [25]$$

in cui:

$M_u$ è la viscosità dinamica dei fumi nel canale da fumo, determinato come media delle viscosità dinamiche dei singoli costituenti dei fumi.

*7.2.4 Perdita di carico per resistenze fluidodinamiche, ΔP*

Si ottiene dalla relazione:

$$\Delta P = SE\left[1/2\, \rho_m W_m^{\,2}\left(\psi \cdot \frac{H_t}{D_h} + \sum_k \xi_k\right)\right] + P_W \qquad [26]$$

dove:

$P_W$ è la variazione di pressione dovuta a variazione di velocità, calcolata come segue:

$$P_W = 1/2\, \rho_m W_m^{\,2}\left[1 - \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2\right] \qquad [27a]$$

in cui:

$W_1$ è la velocità dei fumi prima della variazione;

$W_2$ è la velocità dei fumi dopo la variazione.

Nel caso in cui $W_2$ sia maggiore di $W_1$ si deve considerare la seguente:

$$P_W = SE \cdot 1/2\, \rho_m W_m^{\,2} \left[ 1 - \left( \frac{W_1}{W_2} \right)^2 \right] \qquad [27b]$$

SE è il fattore di sicurezza fluidodinamico posto pari a 1,2, in considerazione del fatto che gli apparecchi devono essere dotati di dispositivo antiriflusso;

$\rho_m$ è la massa volumica media del fluido calcolata secondo la (22)

$W_m$ è la velocità media nel tratto calcolata secondo la (23)

$H_t$ è lo sviluppo totale del tratto di condotto;

$D_h$ è il diametro idraulico calcolato secondo la (8);

$\zeta k$ è il k-esimo coefficiente di perdita localizzata nei punti di discontinuità (curve, raccordi, ecc.) che può essere fornito dai costruttori o ricavato dalla lettura tecnica (vedere in proposito l'appendice A informativa per alcuni casi comuni);

$\psi$ è il fattore di attrito nel tratto determinato secondo la (24).

### *7.3 Variazione di temperatura in un tratto di condotto*

*7.3.1 Coefficiente liminare interno, $\alpha_i$*

Si utilizza la relazione seguente:

$$\alpha_i = \frac{\lambda \cdot N_u}{D_h} \qquad [28]$$

dove:

$\lambda$ è la conduttività termica del fluido;

$D_h$ è il diametro idraulico calcolato secondo la [8];

$N_u$ è il numero di Nusselt, calcolato come segue

$$N_u = \left( \frac{\psi}{\psi_0} \right)^{0,67} 0,035\ 4\,(Re^{\,0,75}\ -180) \qquad [29]$$

in cui:

$\psi$ è il fattore di attrito per tubo rugoso (si utilizza la [24]);

$\psi_0$ è il fattore di attrito per tubo liscio (si utilizza la [24] ponendo r=0).

*Nota: tale relazione per Nu è valida per 3000<Re< $10^7$ e ($\psi$ /$\psi_0$) <3.*

Se dovesse risultare $\alpha$<5 porre $\alpha$=5.

*7.3.2 Coefficiente globale di scambio termico, k*

Può essere calcolato con la relazione:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left( RT + \frac{D_h}{D_{he}} \cdot \frac{1}{\alpha_e} \right) \cdot SH} \qquad [30]$$

dove:

$\alpha_i$ è il coefficiente liminare interno calcolato secondo la (28);

$\alpha_e$ è il coefficiente liminare esterno calcolato secondo la (10);

$D_{he}$ è il diametro idraulico esterno del tratto;

SH è il fattore di correzione per temperatura non costante pari a 0,5;

RT è la resistenza termica di parete del condotto.

*7.3.3 Fattore di raffreddamento, KR*

È determinato come segue:

$$KR = \frac{U \cdot k \cdot L}{M \cdot c_p} \qquad [31]$$

dove:

U è il perimetro interessato nello scambio termico; per semplicità si distinguono i casi seguenti a seconda della conformazione della CCR;

a) Il secondario ed il primario sono separati. È il caso, per esempio, di alcune canne metalliche con secondario che si innesta esternamente al primario. In questo caso il perimetro U da prendere in considerazione, sia per il secondario che per il primario, è quello effettivo,

b) Il secondario ed il primario sono separati solo da un setto. È il caso delle CCR di tipo tradizionale. In questo caso, sia per il primario che per il secondario, il perimetro va considerato uguale a quello effettivo moltiplicato per un fattore di correzione $f_u$ = 0,75,

c) Il secondario è inserito nel primario e coassiale ad esso. In questo caso il perimetro U del secondario è pari a quello effettivo moltiplicato per un coefficiente $f_U$ compreso tra 0 e 0,2;

K è il coefficiente globale di scambio termico calcolato secondo la [30)];

L è la lunghezza del tratto di condotto;

$c_p$ è la capacità termica massica a pressione costante del fluido.

*7.3.4 Temperatura fumi all'uscita del condotto, $T_{fU}$*

È così calcolata:

$$T_{fU} = T_a + (T_{fI} - T_a)\, e^{-KR} \qquad [32]$$

dove:

KR è il fattore di raffreddamento calcolato secondo la (31);

$T_a$ è la temperatura dell'aria esterna al condotto;

$T_{fI}$ è la temperatura dei fumi all'ingresso del condotto.

*7.3.5 Temperatura media dei fumi nel condotto, $T_{fm}$*

È calcolata come segue:

$$T_{fm} = T_a + (T_{fI} - T_a) \cdot \frac{1-e^{-KR}}{KR} \qquad [33]$$

### *7.4 Pressioni in un tratto di condotto*

*7.4.1 Pressione statica all'imbocco, $P_{sI}$*

Si calcola con la relazione seguente: $P_{sI} = (\rho a - \rho m)\, H\, g$ [34]

dove:

H è l'altezza del condotto; g è l'accelerazione di gravità.

*7.4.2 Pressione effettiva all'imbocco, $P_{rI}$*

In una qualsiasi sezione la pressione effettiva è determinata come somma dei contributi di pressione effettiva in tutti i tratti di condotto soprastanti la sezione stessa. I contributi di ogni tratto sono dati dalla differenza tra la pressione statica e la perdita di carico per resistenze fluidodinamiche. A questi deve essere sottratta la perdita di carico dovuta alla presenza del comignolo:

$$P_{rI} = \sum_{m=j+1}^{nc+1} (P_{sim} - \Delta P_m) - \Sigma P_q \qquad [35]$$

dove:

$\Delta P_q$ è la variazione di pressione dovuta alla presenza del comignolo che, qualora non sia nota, può essere posta pari a:

$$\Delta P_q = 1/2\, \rho_m W_m^2\, \zeta_q \qquad [36]$$

in cui:

$\rho_m$ è la densità media dei fumi;

$W_m$ è la velocità media dei fumi;

$\zeta_q$ è il coefficiente di perdita localizzata al comignolo.

### *7.5 Massima variazione consentita fra due iterazioni successive*

*7.5.1 Variazione di pressione, $EP_{r\,max}$*

Alla fine del processo iterativo si calcola, per ogni canale da fumo, la differenza fra il valore corrente della pressione effettiva all'ingresso, $P_{rIC}$, e il suo valore ottenuto all'iterazione precedente:

$$EP_{rIC} = P_{rIC} - P_{rIC0} \qquad [37]$$

dove:

$P_{rIC}$ è la pressione effettiva all'imbocco dei canali da fumo, a valle dell'interruttore di tiraggio calcolato secondo la [35];

$P_{rIC0}$ è la pressione effettiva all'imbocco dei canali da fumo, a valle dell'interruttore di tiraggio, calcolato nell'iterazione precedente.

Si determina quindi la maggiore tra questa differenze:

$$EP_{r\,max} = \max \cdot \{EP_{rIC}\} \qquad [38]$$

Se $EP_{r\,max}$ è maggiore del limite stabilito dalla presente norma (0,1 Pa) si ripete l'intera procedura,

adottando come nuovi valori di tentativo quelli ottenuti nell'ultima iterazione eseguita.
Perchè il calcolo sia accettabile (abbia cioè raggiunto la convergenza) deve risultare quindi:

$$E_{pr\,max} \leq 0,1 \qquad [39]$$

## 8 Criteri di verifica

### *8.1. Pressione effettiva*

Devono essere verificate per ogni piano con apparecchi accesi le relazioni seguenti:

$$P_{rIC} > P_G + P_I \qquad [40] \qquad\qquad M_a \geq 0 \qquad [41]$$

per gli altri piani deve essere $P_{rIC} > 0$ [40a]

dove:
$P_{rIC}$ è la pressione effettiva all'imbocco dei canali da fumo calcolata secondo la [35];
$P_G$ sono le perdite di carico nell'apparecchio;
$P_I$ sono le perdite di carico nell'ingresso dell'aria pari a:

$$P_I = SE\ 1/2 \frac{M_{fUG}^2}{\rho_a \cdot A_I^2} \zeta_I$$

La verifica deve essere effettuata nei seguenti casi limite:

*caso 1:* tutti gli apparecchi accesi e funzionanti alle condizioni di portata termica nominale;
*caso 2:* solo l'apparecchio al piano più basso, funzionante nelle condizioni di portata termica ridotta;
*caso 3:* solo l'apparecchio al piano più alto che immette nel primario, funzionante nelle condizione di portata termica nominale:

### *8.2 Temperatura*

La temperatura interna di parete in ogni punto del primario deve soddisfare la [42], nel caso 2 di 8.1, ma funzionante alle condizioni di massima potenza , in cui si usi un fattore per temperatura non costante SH=1 e una temperatura di progetto esterna calcolata come segue:

- se la CCR è disposta internamente all'edificio per tutta la sua lunghezza senza nessuna porzione della superficie perimetrale esposta all'esterno

$$T_a = T_{a\,max} = 293,15 \qquad [43]$$

- se la CCR è disposta esternamente all'edificio per tutta la sua lunghezza e con tutta la superficie perimetrale esposta all'esterno, Ta è uguale alle temperature come riportate nel prospetto 2;
- nel caso in cui una porzione $\omega$ della superficie perimetrale esterna della canna fumaria sia esposta all'esterno dell'edificio

$$T_a = 293 \cdot (1 - \omega) + TP\omega \qquad [44]$$

dove:
TP è la temperatura esterna di progetto come riportato nel prospetto 2, e deve essere espressa in gradi Kelvin.
Verificare la [45] con la temperatura di parete allo sbocco del primario (dove la temperatura dei fumi è la più bassa), deve risultare:

$$T_{pU} \geq T_R \qquad [45]$$

dove:
$T_{pU}$ è la temperatura di parete all'uscita del condotto fumi calcolata secondo la [46];
$T_R$ è la temperatura di riferimento pari alla
- temperatura del punto di rugiada se le condizioni di funzionamento previste sono a secco (è determinata come indicato di seguito);
- temperatura di congelamento dell'acqua se le condizioni di funzionamento previste sono a umido ($T_R$=273,15)

*8.2.1 Temperatura del punto di rugiada*
Si determina come segue:

- si determina il bilancio delle specie chimiche nei fumi prima dello sbocco in atmosfera;
- si valuta la pressione parziale del vapor d'acqua nei fumi;
- si ricava infine la temperatura del punto di rugiada in funzione della pressione parziale del vapor d'acqua nei fumi.

Vedere anche UNI 9615-1, figura 19.

*8.2.2 Temperatura di parete all'uscita dal primario, $T_{pU}$*

Si calcola come segue: $T_{pU} = T_{fUP} - (T_{fUP} - T_a) k_P / \alpha_{iP}$ [46]

dove:

$k_P$ è il coefficiente globale di scambio termico del tratto terminale del primario;

$\alpha_{iP}$ è il coefficiente liminare interno del tratto terminale del primario;

$T_{fUP}$ è la temperatura dei fumi in uscita del primario.

### 8.3 Velocità

Nelle stesse condizioni (temperatura e stato di carico dell'impianto) di cui in 8.2, deve essere verificata la relazione:

$$W \geq W_{min}$$

dove:

W è la velocità media di ogni tratto calcolata secondo la [23] sia in ogni tratto del primario che nei secondari, nei tratti attraversati dai fumi provenienti dagli apparecchi in funzione;

$W_{min}$ è la velocità minima ammissibile dei fumi nella canna fumaria pari a:

$$W_{min} = f_W \sqrt[4]{A} \qquad [48]$$

in cui:

$f_W$ è il coefficiente di velocità minima pari a 1,58 $m^{1/2} S^{-1}$;

A è l'area netta della sezione di passaggio.

Per calcolare la portata massica dei prodotti della combustione moltiplicare i relativi coefficienti riportati nel prospetto 1 per la portata termica presa in considerazione.

Per il calcolo della temperatura $T_{fUG}$ all'uscita dall'apparecchio, prima dell'interruttore di tiraggio usare la relazione seguente:

$$T_{fUG} = 293{,}15 + C\,(1-\eta)\,1000 \qquad [49]$$

dove:

C è il coefficiente caratteristico dei fumi come indicato nel prospetto alle varie condizioni.

## Prospetto 1

**COEFFICIENTI PER IL CALCOLO DELLE GRANDEZZE TERMOFLUIDODINAMICHE DEI FUMI**

| | | Gas naturale | | GPL | | Gas di città | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Portata termica di verifica | | $N_{GF}$ | $N_G$ | $N_{GF}$ | $N_G$ | $N_{GF}$ | $N_G$ |
| Percentuale di $CO_2$ nei prodotti della combustione secchi | % | 4,3 | 8,77 | 5,29 | 10,5 | 4,57 | 9,00 |
| Percentuale di $O_2$ nei prodotti della combustione secchi | % | 13,16 | 5,26 | 13,0 | 5,16 | 12,85 | 5,0 |
| Portata dei prodotti della combustione per unità di portata termica | $10^{-3}$ (kg/s)/kW | 0,95 | 0,50 | 0,90 | 0,50 | 0,85 | 0,50 |
| Coefficiente C caratteristico dei prodotti della combustione | K | 0,95 | 1,80 | 1,00 | 1,80 | 1,05 | 1,80 |

*Nota - Nel prospetto 1 le portate, come condizione di sicurezza, sono state calcolate con un'eccesso d'aria pari al 150% per la $N_{GF}$ e pari al 30% per la $N_G$. I poteri calorifici utilizzati nel calcolo stesso sono quelli normalmente utilizzati per ciascun combustibile considerato in condizioni standard (34,0 [MJ/m³] per il gas naturale, 102,2 [MJ/m³] per il GPL e 18,15 [MJ/m³] per il gas di città).*

## Prospetto 2

### TEMPERATURE DI VERIFICA DELL'ARIA ESTERNA[2]

| Località | Temperatura °C | Località | Temperatura °C |
|---|---|---|---|
| Torino | - 8 | Pordenone | - 5 |
| Alessandria | - 8 | Udine | - 5 |
| Asti | - 8 | Bassa Carnia | - 7 |
| Cuneo | - 10 | Alta Carnia | - 10 |
| Alta Valle Cuneese | - 15 | Tarvisio | - 15 |
| Novara | - 5 | Bologna | - 5 |
| Vercelli | - 7 | Ferrara | - 5 |
| Aosta | - 10 | Forlì | - 5 |
| Valle d'Aosta | - 15 | Modena | - 5 |
| Alta Valle d'Aosta | - 20 | Parma | - 5 |
| Genova | 0 | Piacenza | - 5 |
| Imperia | 0 | Provincia di Piacenza | - 7 |
| La Spezia | 0 | Ravenna | - 5 |
| Savona | 0 | Reggio Emilia | - 5 |
| Milano | - 5 | Ancona | - 2 |
| Bergamo | - 5 | Ascoli Piceno | - 2 |
| Brescia | - 7 | Macerata | - 2 |
| Como | - 5 | Pesaro | - 2 |
| Provincia di Como | - 7 | Firenze | 0 |
| Cremona | - 5 | Arezzo | 0 |
| Mantova | - 5 | Grosseto L. | 0 |
| Pavia | - 5 | Livorno | 0 |
| Sondrio | - 10 | Lucca | 0 |
| Alta Valtellina | - 15 | Massa Carrara | 0 |
| Varese | - 5 | Pisa | 0 |
| Trento | - 12 | Siena | - 2 |
| Bolzano | - 15 | Perugia | - 2 |
| Venezia | - 5 | Terni | - 2 |
| Belluno | - 10 | Roma | 0 |
| Padova | - 5 | Frosinone | 0 |
| Rovigo | - 5 | Latina | 2 |
| Treviso | - 5 | Rieti | - 3 |
| Verona | - 5 | Viterbo | - 2 |
| Verona (zona lago) | - 3 | Napoli | 2 |
| Verona (zona montagna) | - 10 | Avellino | - 2 |
| Vicenza | - 5 | Benevento | - 2 |
| Vicenza (zona altopiani) | - 10 | Caserta | 0 |
| Trieste | - 5 | Salerno | 2 |
| Gorizia | - 5 | L'Aquila | - 5 |

segue nella pagina successiva

2) I dati qui riportati sono desunti dall'Allegato 1 del DPR 28 Giugno 1977, N° 1052 "Regolamento di esecuzione alla Legge 30 Aprile 1976, N° 373".

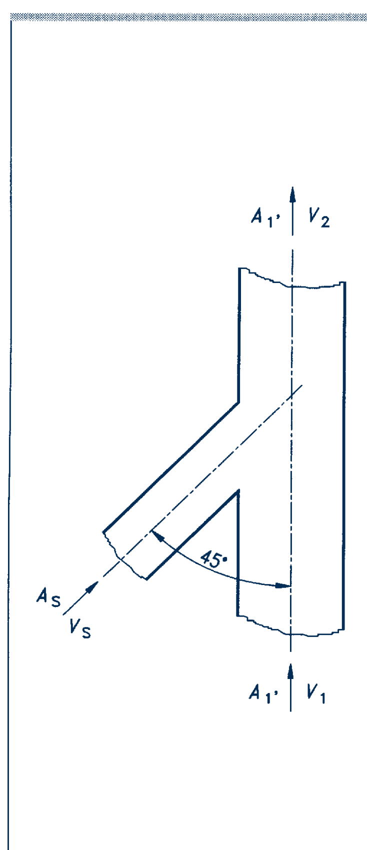
Ove si tratti di località non espressamente indicata adottare quale temperatura esterna quella della località più vicina indicata nell'elenco, modificandola:

| Località | Temperatura °C | Località | Temperatura °C |
|---|---|---|---|
| continua dalla pagina precedente | | | |
| Chieti | 0 | Cosenza | - 3 |
| Pescara | 2 | Palermo | 5 |
| Teramo | 0 | Agrigento | 3 |
| Campobasso | - 4 | Caltanissetta | 0 |
| Bari | 0 | Catania | 5 |
| Brindisi | 0 | Enna | - 3 |
| Foggia | 0 | Messina | 5 |
| Lecce | 0 | Ragusa | 0 |
| Taranto | 0 | Siracusa | 5 |
| Potenza | - 3 | Trapani | 5 |
| Matera | - 2 | Cagliari | 3 |
| Reggio Calabria | 3 | Nuoro | 0 |
| Catanzaro | - 2 | Sassari | 2 |

a) per tener conto della diversa altitudine sul livello del mare:
temperatura invariata sino a circa 200 m di differenza di quota;
diminuzione (o aumento) di 1 °C per ogni 200 m di quota maggiore (o minore) oltre i 200 m;
b) per tener conto della diversa situazione dell'ambiente esterno:
temperatura invariata, salvo correzione di altezza, in un complesso urbano;
diminuzione di 0,5 a 1 °C in piccoli agglomerati;
diminuzione di 1 a 2 °C in edifici isolati;
c) per tener conto dell'altezza degli edifici, limitatamente ai piani di altezza maggiore di quella degli edifici vicini [inclusa la diminuzione di cui in b) diminuzione di 1 a 2 °C.

## APPENDICE A (informativa)
## COEFFICIENTI DI PERDITA LOCALIZZATA (VALORI INDICATIVI)

Fig. A.1 - Convergenza a 45°, rotonda




Prospetto A.1 - Convergenza a 45°, rotonda

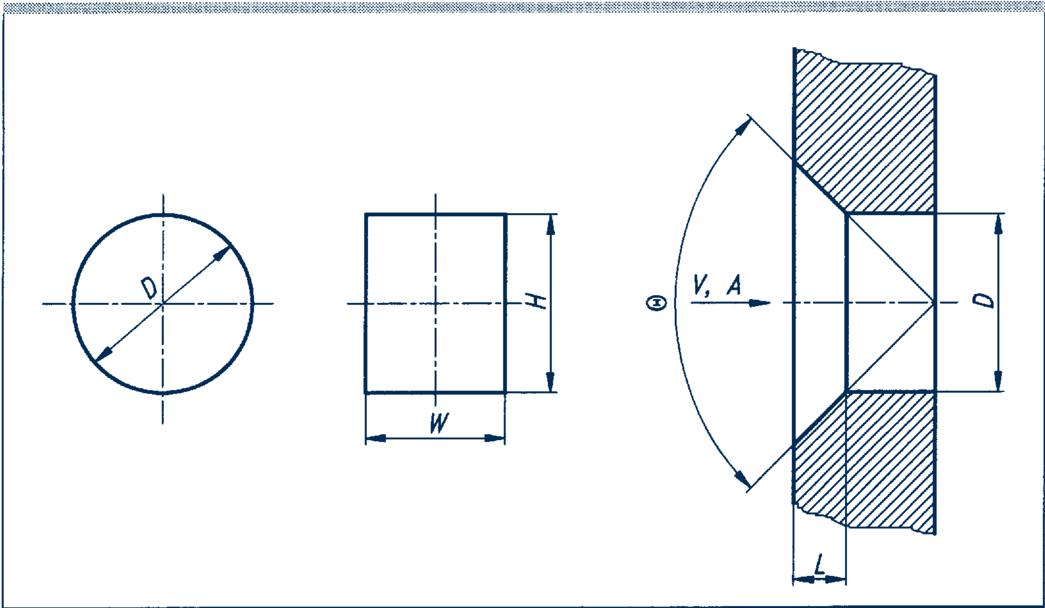
Secondario: $\xi_S$

| $V_S/V_2$ | $A_S/A_P$ 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,4 | - 0,56 | - 0,44 | - 0,35 | - 0,28 | - 0,15 | - 0,04 | 0,05 |
| 0,5 | - 0,48 | - 0,37 | - 0,28 | - 0,21 | - 0,09 | 0,02 | 0,11 |
| 0,6 | - 0,38 | - 0,27 | - 0,19 | - 0,12 | 0,00 | 0,10 | 0,18 |
| 0,7 | - 0,26 | - 0,16 | - 0,08 | - 0,01 | 0,10 | 0,20 | 0,28 |
| 0,8 | - 0,21 | - 0,02 | 0,05 | 0,12 | 0,23 | 0,32 | 0,40 |
| 0,9 | 0,04 | 0,13 | 0,21 | 0,27 | 0,37 | 0,46 | 0,53 |
| 1,0 | 0,22 | 0,31 | 0,38 | 0,44 | 0,53 | 0,62 | 0,69 |
| 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| 2,0 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| 2,5 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 5,4 |
| 3,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |

Primario: $\xi_P$

| $V_1/V_2$ | $A_S/A_P$ 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | - 8,6 | - 4,1 | - 2,5 | - 1,7 | - 0,97 | - 0,58 | - 0,34 |
| 0,2 | - 6,7 | - 3,1 | - 1,9 | - 1,3 | - 0,67 | - 0,36 | - 0,18 |
| 0,3 | - 5,0 | - 2,2 | - 1,3 | - 0,88 | - 0,42 | - 0,19 | - 0,05 |
| 0,4 | - 3,5 | - 1,5 | - 0,88 | - 0,55 | - 0,21 | - 0,05 | 0,05 |
| 0,5 | - 2,3 | - 0,95 | - 0,51 | - 0,28 | - 0,06 | 0,06 | 0,13 |
| 0,6 | - 1,3 | - 0,50 | - 0,22 | - 0,09 | 0,05 | 0,12 | 0,17 |
| 0,7 | - 0,63 | - 0,18 | - 0,03 | 0,04 | 0,12 | 0,16 | 0,18 |
| 0,8 | - 0,18 | 0,01 | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,17 |
| 0,9 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,13 |
| 1,0 | 0,01 | 0, | 0, | 0,10 | 0,02 | 0,04 | 0,05 |

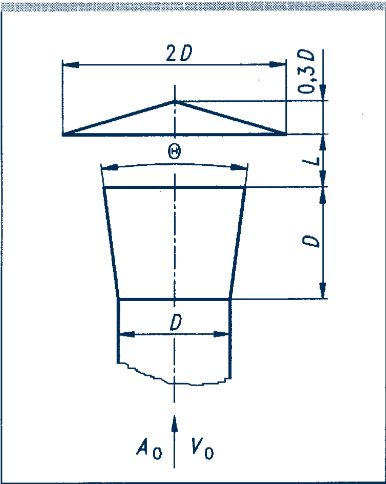
Fig. A.2 - Apertura svasata in un muro, rotonda o rettangolare




Prospetto A.2 - Apertura svasata in un muro, rotonda o rettangolare
Se la sezione è rettangolare: D2 · H · W/(H + W)

| $\frac{L}{D}$ | ξ<br>θ, gradi<br>0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 100 | 140 | 180 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,025 | 0,50 | 0,47 | 0,45 | 0,43 | 0,41 | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,50 |
| 0,05 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,36 | 0,33 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,50 |
| 0,075 | 0,50 | 0,42 | 0,35 | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,30 | 0,40 | 0,50 |
| 0,10 | 0,50 | 0,39 | 0,32 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,27 | 0,38 | 0,50 |
| 0,15 | 0,50 | 0,37 | 0,27 | 0,20 | 0,16 | 0,15 | 0,25 | 0,37 | 0,50 |
| 0,60 | 0,50 | 0,27 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,23 | 0,36 | 0,50 |

Fig. A.3 - Comignolo




Prospetto A.3 - Comignolo

| θ<br>gradi | $\xi_0$<br>L/d<br>0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 0,65 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |

# APPENDICE B (informativa)
# ESEMPI DI CALCOLO

*Nota - Per ogni verifica vengono riportati solo i risultati dell'ultima iterazione eseguita (tranne il primo caso del primo esempio in cui, a titolo semplificativo vengono riportati anche i risultati della prima iterazione).*

## *B.1 - Canna collettiva ramificata metallica*

L'esempio prende in esame una canna collettiva ramificata in acciaio con un'altezza totale di 20 m. La canna, installata all'esterno, è al servizio di 6 caldaie murali (5+1 piani) di potenza termica unitaria pari a 24 kW ubicate una per piano. Il diametro interno del primario è di 300 mm e quello del secondario è di 150 mm, le resistenze termiche di parete del primario e del secondario sono rispettivamente pari a 0,50 e 0,44 [m K/W].

B.1.1 - Dati

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|
| Temperatura ambiente | K | 293,15 | |
| Altezza geodetica | m | 120,0 | |
| Costante dell'aria | J/(kg K) | 288,0 | |
| Capacità termica massica dell'aria | J/(kg K) | 1 004,6 | |
| Coefficiente liminare esterno CCR | W/(m$^2$ K) | 23 | |
| Coefficiente liminare esterno canali da fumo | W/(m$^2$ K) | 8 | |
| | | | |
| Numero di piani edificio | - | 6 | |
| Numero di piani collegati alla CCR | - | 5 (+ 1) | |
| Fattore di correzione per temperatura non costante | - | 0,5 | |
| Coefficiente di sicurezza fluidodinamico | - | 1,2 | |
| | | | |
| Potere calorifico del gas | MJ/kg | 50 | |
| Costante dei fumi | J/(kg K) | 293 | |
| | | | |
| Forma della sezione del primario/secondario | CIRCOLARE | | |
| Diametro idraulico interno del secondario | m | 0,15 | [8] |
| Diametro idraulico interno del primario | m | 0,3 | [8] |
| Diametro idraulico esterno del secondario | m | 0,25 | [8] |
| Diametro idraulico esterno del primario | m | 0,4 | [8] |
| | | | |
| Rugosità del primario/secondario | m | 0,0005 | |
| Resistenza termica di parete del secondario | m K/W | 0,44 | |
| Resistenza termica di parete del primario | m K/W | 0,50 | |

segue nella pagina successiva

| Grandezza | Unità di misura | Valore | | | | | | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| continua dalla pagina precedente | | | | | | | | |
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | Riferimento formule |
| Diametri idraulici interni dei canali da fumo | m | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | [8] |
| Diametri idraulici esterni dei canali da fumo | m | 0,132 | 0,132 | 0,132 | 0,132 | 0,132 | 0,132 | [8] |
| Altezza dei canali da fumo | m | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | |
| Sviluppo dei canali da fumo | m | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | |
| Rugosità dei canali da fumo | m | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| Resistenza termica di parete canale da fumo | $(m^2 K)/W$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Coefficente di perdita localizzata canali da fumo | - | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | |
| Coefficente perdita localizzata immissione secondario | - | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | |
| Altezza dei tratti di primario e dei secondari | m | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | |
| Sezione dell'apertura di ventilazione | $m^2$ | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | |
| Sezione passaggio dell'interruttore di tiraggio | $m^2$ | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | |
| Coefficente perdita fluidodinamica all'apertura ventilazione | - | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| Coefficente perdita fluidodinamica all'interruttore di tiraggio | - | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| | | | | | | | | |
| Portata termica nominale | W | 24 000 | | | | | | |
| Rendimento di combustione | % | 90 | | | | | | |
| Eccesso d'aria | % | 64 | | | | | | |
| Portata massica dei prodotti della combustione | kg/s | 0,014 | | | | | | |
| Temperatura dei prodotti della combustione | °C | 180 | | | | | | |
| Perdite di carico per attraversamento generatore | Pa | 3 | | | | | | |
| Viscosità dinamica dei prodotti della combustione | Pa s | 18e-6 | | | | | | |
| Capacità termica massica dei prodotti della combustione | J/(kg K) | 1 040 | | | | | | |
| altezza geodetica | m | 120 | | | | | | |
| pressione atmosferica | Pa | 95 500 | | | | | | |
| massa volumica aria esterna | $kg/m^3$ | 1,13 | | | | | | [3] |

### *B.1.2 - Risultati*

Nel caso 1 di cui in 8.1 (tutte le caldaie accese alla portata termica nominale) l'esempio evidenzia depressioni all'imbocco del canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) con valori compresi tra 8 e 19 Pa in condizioni di regime stazionario, maggiori dei 1+3 Pa richiesti rispettivamente per l'ingresso nel locale e per l'attraversamento del generatore.

Prima iterazione

Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata di aria parassita | kg/s | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,018 | |
| temperatura fumi ingresso | K | 357 | 357 | 357 | 357 | 357 | 357 | [21] |
| massa volumica media fumi | $kg/m^3$ | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 19 044 | 19 044 | 19 044 | 19 044 | 19 044 | 19 044 | [25] |
| fattore attrito tubo ruvido | - | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | [24] |
| fattore attrito tubo liscio | - | 0,026 | 0,026 | 0,026 | 0,026 | 0,026 | 0,026 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 65,6 | 65,6 | 65,6 | 65,6 | 65,6 | 65,6 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | 15,1 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 349 | 349 | 349 | 349 | 349 | 349 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 353 | 353 | 353 | 353 | 353 | 353 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 2,51 | 2,51 | 2,51 | 2,51 | 2,51 | 2,51 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | [34] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 349 | 349 | 349 | 349 | 349 | 349 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | [23] |
| Numero di Reynolds | - | 16 505 | 16 505 | 16 505 | 16 505 | 16 505 | 16 505 | [25] |
| fattore attrito tubo ruvido | - | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | [24] |
| fattore attrito tubo liscio | - | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 51,3 | 51,3 | 51,3 | 51,3 | 51,3 | 51,3 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | [28] |
| coefficente globale di scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 343 | 343 | 343 | 343 | 343 | 343 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 346 | 346 | 346 | 346 | 346 | 346 | [33] |
| pressione statica | Pa | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | [34] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,032 | 0,064 | 0,095 | 0,126 | 0,158 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 342,98 | 339,16 | 337,99 | 337,18 | 336,58 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 0,95 | 0,96 | 0,96 | 0,97 | 0,97 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,52 | 1,03 | 1,54 | 2,05 | 2,56 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 8 252 | 16 505 | 24 757 | 33 010 | 41 262 | [25] |
| fattore attrito tubo ruvido | - | | 0,035 | 0,030 | 0,028 | 0,027 | 0,026 | [24] |
| fattore attrito tubo liscio | - | | 0,033 | 0,027 | 0,025 | 0,023 | 0,022 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 25,4 | 48,5 | 69,6 | 89,6 | 108,9 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 5,0 | 7,0 | 9,0 | 10,9 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,1 | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,17 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 335,34 | 335,49 | 335,24 | 334,97 | 333,55 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 339,06 | 337,30 | 336,60 | 336,07 | 335,04 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 333,94 | 334,78 | 334,86 | 334,74 | 333,28 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 5,33 | 5,01 | 4,91 | 4,84 | 7,99 | [34] |

## Ultima iterazione

### Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,029 | 0,024 | 0,021 | 0,018 | 0,017 | 0,014 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,043 | 0,038 | 0,035 | 0,032 | 0,031 | 0,028 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 340,26 | 346,51 | 350,56 | 354,71 | 359,15 | 364,88 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 0,97 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 3,7 | 3,3 | 3,1 | 2,9 | 2,8 | 2,6 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 25 850 | 22 820 | 21 210 | 19 781 | 18 450 | 16 975 | [25] |
| fattore attrito tubo ruvido | - | 0,037 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | [24] |
| fattore attrito tubo liscio | - | 0,024 | 0,025 | 0,026 | 0,026 | 0,026 | 0,027 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 87,6 | 77,9 | 72,7 | 68,0 | 63,6 | 58,7 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 20,2 | 18,0 | 16,8 | 15,7 | 14,7 | 13,6 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 9,0 | 8,5 | 8,3 | 8,0 | 7,7 | 7,4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 335,28 | 340,49 | 343,83 | 347,24 | 350,88 | 355,55 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 337,72 | 343,44 | 347,13 | 350,90 | 354,92 | 360,11 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 4,32 | 3,44 | 3,01 | 2,66 | 2,35 | 2,03 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,49 | 0,54 | 0,57 | 0,59 | 0,63 | 0,67 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 18,81 | 13,83 | 11,51 | 9,62 | 8,03 | 6,44 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,07 | | | | | | [38] |

### Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 335,28 | 340,49 | 343,83 | 347,24 | 350,88 | 355,55 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 0,97 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 22 403 | 19 777 | 18 382 | 17 143 | 15 990 | 14 712 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,032 | 0,032 | 0,032 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,025 | 0,026 | 0,026 | 0,027 | 0,027 | 0,028 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 68,0 | 60,6 | 56,7 | 53,1 | 49,8 | 46,1 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 13,6 | 12,1 | 11,3 | 10,6 | 10,0 | 9,2 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3,3 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 2,9 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,21 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 331,53 | 335,87 | 338,62 | 341,40 | 344,34 | 343,60 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 333,38 | 338,14 | 341,18 | 344,27 | 347,55 | 349,36 | [33] |
| pressione statica | Pa | 4,7 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 10,5 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 0,0 | 3,0 | 0,9 | 0,2 | - 0,1 | - | - |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 4,20 | 5,76 | 4,53 | 3,18 | 1,92 | 2,74 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 22,64 | 16,74 | 13,95 | 11,69 | 9,75 | 7,80 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,043 | 0,080 | 0,116 | 0,148 | 0,179 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 331,53 | 331,21 | 331,66 | 332,21 | 332,84 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | 0,98 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,68 | 1,29 | 1,85 | 2,38 | 2,87 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 11 202 | 21 090 | 30 281 | 38 853 | 46 848 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,033 | 0,029 | 0,027 | 0,026 | 0,026 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,030 | 0,026 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 34,0 | 60,4 | 83,1 | 103,3 | 121,6 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 6,0 | 8,3 | 10,3 | 12,2 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 2,8 | 2,9 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,12 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 327,10 | 328,63 | 329,61 | 330,48 | 330,33 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 329,27 | 329,90 | 330,63 | 331,34 | 331,57 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 326,27 | 328,21 | 329,37 | 330,31 | 330,13 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 4,36 | 4,33 | 4,37 | 4,42 | 7,46 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 3,3 | - 0,6 | - 0,1 | 0,0 | 0,0 | - | - |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,76 | - 0,42 | 0,04 | 0,48 | 0,93 | 1,74 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 22,92 | 22,16 | 17,38 | 13,09 | 9,20 | 5,71 | [35] |

Nel caso 2 di cui in 8.1 (solo la caldaia più bassa accesa al minimo del carico 9,6 kW, 0,014 kg/s e 120 °C all'uscita del generatore) la depressione all'imbocco del relativo canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) presenta il valore di 10 Pa.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,019 | 0,019 | 0,016 | 0,014 | 0,012 | 0,007 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,033 | 0,019 | 0,016 | 0,014 | 0,012 | 0,007 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 331,37 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 0,99 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,8 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 19 900 | 11 298 | 9 632 | 8 237 | 6 980 | 4 089 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,038 | 0,040 | 0,041 | 0,042 | 0,043 | 0,047 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,026 | 0,030 | 0,031 | 0,033 | 0,034 | 0,040 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 68,4 | 39,5 | 33,6 | 28,6 | 24,1 | 13,1 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 15,8 | 9,1 | 7,8 | 6,6 | 5,6 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 8,0 | 5,8 | 5,2 | 4,7 | 4,1 | 3,8 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,13 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,31 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 326,75 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 329,01 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 2,52 | 0,75 | 0,55 | 0,41 | 0,30 | 0,11 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,41 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 9,74 | 5,51 | 3,99 | 2,92 | 2,12 | 0,75 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,04 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 326,75 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 1,00 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,1 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,4 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 17 247 | 9 792 | 8 348 | 7 138 | 6 050 | 3 544 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,033 | 0,036 | 0,037 | 0,038 | 0,039 | 0,044 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,027 | 0,031 | 0,032 | 0,034 | 0,035 | 0,041 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 53,4 | 31,3 | 26,7 | 22,8 | 19,2 | 10,4 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 10,7 | 6,3 | 5,3 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3,1 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,11 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,25 | 0,72 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 323,14 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 324,91 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 3,9 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 0,0 | 1,2 | 0,2 | - 0,2 | - 0,3 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 2,47 | 1,13 | 0,65 | 0,29 | - 0,02 | 0,16 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 11,85 | 6,21 | 4,49 | 3,28 | 2,36 | 0,80 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,033 | 0,051 | 0,068 | 0,081 | 0,093 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 323,14 | 309,46 | 304,41 | 301,81 | 300,22 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,01 | 1,05 | 1,07 | 1,08 | 1,09 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,51 | 0,77 | 0,99 | 1,18 | 1,34 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 8 623 | 13 519 | 17 693 | 21 262 | 24 287 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,034 | 0,031 | 0,030 | 0,029 | 0,028 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,032 | 0,029 | 0,027 | 0,025 | 0,025 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 26,5 | 40,5 | 51,6 | 60,8 | 68,5 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 6,1 | 6,8 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,11 | [31] |
| temperature fumi uscita | K | | 318,72 | 307,89 | 303,56 | 301,22 | 299,50 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 320,87 | 308,66 | 303,98 | 301,51 | 299,86 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 317,91 | 307,59 | 303,40 | 301,13 | 299,41 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 3,61 | 2,29 | 1,78 | 1,51 | 2,23 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 3,3 | - 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,44 | - 0,01 | 0,10 | 0,20 | 0,28 | 0,46 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 10,83 | 10,39 | 6,77 | 4,58 | 2,99 | 1,77 | [35] |

Nel caso 3 di cui in 8.1 (solo la caldaia più alta connessa con la CCR accesa al massimo del carico) la depressione all'imbocco del canale da fumo relativo (a valle dell'interruttore di tiraggio) presenta il valore di 7 Pa.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,018 | 0,016 | 0,015 | 0,015 | 0,013 | 0,007 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,018 | 0,016 | 0,015 | 0,015 | 0,027 | 0,007 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 368,01 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 0,90 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 2,5 | 0,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 10 747 | 9 846 | 9 423 | 9 093 | 16 267 | 4 144 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,040 | 0,041 | 0,041 | 0,041 | 0,039 | 0,047 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,030 | 0,031 | 0,031 | 0,032 | 0,027 | 0,039 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 37,5 | 34,4 | 32,9 | 31,7 | 56,4 | 13,3 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 8,7 | 7,9 | 7,6 | 7,3 | 13,0 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 5,6 | 5,3 | 5,2 | 5,0 | 7,2 | 3,8 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 041 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,14 | 0,31 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 358,08 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 362,92 | 293,15 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 0,68 | 0,58 | 0,53 | 0,50 | 1,88 | 0,11 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,69 | 0,06 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 4,98 | 4,18 | 3,83 | 3,57 | 5,74 | 0,74 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,02 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 358,08 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 0,91 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,9 | 0,4 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 9 314 | 8 533 | 8 166 | 7 881 | 14 098 | 3 591 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,036 | 0,037 | 0,037 | 0,037 | 0,034 | 0,044 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,031 | 0,032 | 0,033 | 0,033 | 0,028 | 0,041 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 29,8 | 27,3 | 26,1 | 25,2 | 44,3 | 10,6 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 6,0 | 5,5 | 5,2 | 5,0 | 8,9 | 5,0 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,3 | 2,9 | 2,3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 041 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,20 | 0,13 | 0,71 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 350,09 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 354,00 | 293,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 6,5 | 0,9 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 0,0 | 2,9 | 0,9 | 0,2 | 1,2 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 0,69 | 0,96 | 0,79 | 0,60 | 3,00 | 0,17 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 5,61 | 4,70 | 4,30 | 4,00 | 6,94 | 0,80 | [35] |

Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,018 | 0,034 | 0,050 | 0,065 | 0,092 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 309,88 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,05 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,25 | 0,48 | 0,70 | 0,91 | 1,37 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 4 657 | 8 924 | 13 007 | 16 947 | 23 996 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,040 | 0,034 | 0,032 | 0,030 | 0,028 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,038 | 0,032 | 0,029 | 0,027 | 0,025 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 14,0 | 27,4 | 39,0 | 49,7 | 67,7 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 6,8 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,30 | 0,15 | 0,11 | 0,08 | 0,11 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 308,17 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 309,01 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 307,93 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 3,89 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 3,3 | - 0,6 | - 0,1 | 0,0 | - 0,2 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,12 | - 0,07 | 0,01 | 0,08 | - 0,04 | 0,47 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 5,84 | 5,73 | 5,09 | 4,53 | 4,04 | 3,43 | [35] |

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 (solo la caldaia più bassa accesa al massimo del carico con temperature esterne pari a -5 °C come dal prospetto 2) la temperatura di uscita risulta pari a 8 °C contro una temperatura di rugiada di 7 °C. Tuttavia la velocità minima nella CCR risulta pari a 0,65 m/s, mentre il valore minimo dovrebbe essere pari a 0,8 m/s. Risulta quindi necessario prendere in considerazione un diametro minore ed eseguire nuovamente il calcolo

Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,028 | 0,026 | 0,022 | 0,019 | 0,015 | 0,007 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,042 | 0,026 | 0,022 | 0,019 | 0,015 | 0,007 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 322,86 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 1,02 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 3,5 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 0,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 25 736 | 15 512 | 13 154 | 11 158 | 9 350 | 4 526 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,037 | 0,039 | 0,039 | 0,040 | 0,041 | 0,046 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,024 | 0,028 | 0,029 | 0,030 | 0,031 | 0,038 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 87,2 | 53,8 | 45,9 | 39,0 | 32,6 | 14,8 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 20,1 | 12,4 | 10,6 | 9,0 | 7,5 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 5,8 | 4,9 | 4,6 | 4,3 | 3,9 | 3,1 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,07 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,23 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 319,06 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 320,94 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 4,07 | 1,27 | 0,92 | 0,67 | 0,48 | 0,12 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,65 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 17,03 | 9,50 | 6,83 | 4,91 | 3,45 | 0,81 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,08 | | | | | | [38] |

Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 319,06 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [21] |
| massa volumica media | $kg/m^3$ | 1,02 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 22 305 | 13 444 | 11 400 | 9 670 | 8 103 | 8 103 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,032 | 0,034 | 0,035 | 0,036 | 0,037 | 0,037 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,025 | 0,029 | 0,030 | 0,031 | 0,033 | 0,033 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 67,7 | 42,3 | 36,2 | 30,9 | 25,9 | 25,9 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 13,5 | 8,5 | 7,2 | 6,2 | 5,2 | 5,2 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 1,9 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 316,42 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 317,73 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 6,3 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 0,0 | 1,2 | 0,2 | - 0,2 | - 0,3 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 3,97 | 1,88 | 1,07 | 0,44 | - 0,08 | 0,18 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 20,44 | 10,71 | 7,69 | 5,52 | 3,87 | 0,87 | [35] |

Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,042 | 0,069 | 0,090 | 0,108 | 0,125 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 316,42 | 296,00 | 288,25 | 284,17 | 281,70 | [20] |
| massa volumica media | $kg/m^3$ | | 1,03 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,16 | [21] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,65 | 0,97 | 1,25 | 1,49 | 1,68 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 11 152 | 17 874 | 23 574 | 28 409 | 32 461 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,033 | 0,030 | 0,028 | 0,028 | 0,027 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,030 | 0,027 | 0,025 | 0,024 | 0,023 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 33,9 | 52,1 | 66,7 | 78,6 | 88,3 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | | 5,0 | 5,2 | 6,7 | 7,9 | 8,8 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 312,78 | 294,65 | 287,46 | 283,64 | 281,03 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 314,58 | 295,32 | 287,85 | 283,90 | 281,36 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 312,08 | 294,40 | 287,35 | 283,57 | 280,96 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 6,08 | 3,99 | 3,12 | 2,64 | 3,91 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 3,3 | - 0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,72 | - 0,03 | 0,16 | 0,32 | 0,46 | 0,74 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 18,79 | 18,07 | 11,96 | 8,14 | 5,34 | 3,17 | [35] |

Il nuovo diametro interno del primario usato per il calcolo è di 250 mm mentre quello del secondario rimane uguale al tentativo precedente. Pertanto i nuovi diametri e le resistenze termiche risultano come segue:

### *B.1.3 - Dati di ingresso*

| | | | Riferimento formule |
|---|---|---|---|
| Diametro idraulico interno del secondario | m | 0,150 | [8] |
| Diametro idraulico interno del primario | m | 0,250 | [8] |
| Diametro idraulico esterno del secondario | m | 0,250 | [8] |
| Diametro idraulico esterno del primario | m | 0,350 | [8] |
| Resistenza termica di parete del secondario | m K/W | 0,44 | |
| Resistenza termica di parete del primario | m K/W | 0,48 | |

### *B.1.4 - Risultati del calcolo*

Nel caso 1 di cui in 8.1 risultano depressioni all'imbocco del canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) con valori compresi tra 7 e 14 Pa in condizioni di regime stazionario.

Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,025 | 0,021 | 0,019 | 0,017 | 0,016 | 0,014 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,039 | 0,035 | 0,033 | 0,031 | 0,030 | 0,028 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 345,53 | 350,08 | 354,29 | 357,97 | 360,32 | 364,89 | [21] |
| massa volumica media fumi | $kg/m^3$ | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 23 247 | 21 391 | 19 915 | 18 787 | 18 130 | 16 974 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,025 | 0,025 | 0,026 | 0,026 | 0,027 | 0,027 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 79,3 | 73,3 | 68,5 | 64,7 | 62,6 | 58,7 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 18,3 | 16,9 | 15,8 | 14,9 | 14,4 | 13,6 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 8,6 | 8,3 | 8,0 | 7,8 | 7,6 | 7,4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 339,67 | 343,43 | 346,90 | 349,91 | 351,83 | 355,55 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 342,54 | 346,69 | 350,52 | 353,85 | 355,98 | 360,11 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 3,56 | 3,06 | 2,69 | 2,43 | 2,28 | 2,03 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,53 | 0,56 | 0,59 | 0,62 | 0,64 | 0,67 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 14,42 | 11,69 | 9,74 | 8,38 | 7,65 | 6,44 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,09 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 339,67 | 343,43 | 346,90 | 349,91 | 351,83 | 355,55 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,93 | 0,92 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,9 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 20 148 | 18 539 | 17 260 | 16 282 | 15 712 | 14 711 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,032 | 0,032 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,026 | 0,026 | 0,027 | 0,027 | 0,027 | 0,028 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 61,7 | 57,1 | 53,5 | 50,7 | 49,0 | 46,1 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 12,3 | 11,4 | 10,7 | 10,1 | 9,8 | 9,2 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,21 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 335,19 | 338,29 | 341,13 | 343,56 | 345,11 | 343,60 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 337,40 | 340,82 | 343,96 | 346,67 | 348,40 | 349,37 | [33] |
| pressione statica | Pa | 5,1 | 5,4 | 5,6 | 5,9 | 6,0 | 10,5 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 7,0 | 1,3 | 0,2 | - 0,1 | - 0,2 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 6,21 | 4,79 | 3,32 | 1,93 | 0,60 | 2,74 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 17,44 | 14,19 | 11,84 | 10,19 | 9,29 | 7,80 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,039 | 0,074 | 0,108 | 0,138 | 0,168 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 335,19 | 334,28 | 334,40 | 334,75 | 335,09 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 0,97 | 0,98 | 0,97 | 0,97 | 0,97 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,90 | 1,71 | 2,48 | 3,20 | 3,91 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 12 089 | 23 212 | 33 568 | 43 337 | 52 764 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,033 | 0,029 | 0,028 | 0,027 | 0,026 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,029 | 0,025 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 36,9 | 66,7 | 92,5 | 115,8 | 137,7 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 8,0 | 11,1 | 13,9 | 16,5 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,12 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 330,58 | 331,40 | 332,18 | 332,91 | 332,49 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 332,84 | 332,82 | 333,28 | 333,82 | 333,78 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 329,71 | 331,05 | 331,99 | 332,78 | 332,34 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 4,68 | 4,60 | 4,61 | 4,64 | 7,78 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 2,0 | - 0,3 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | | |
| caduta pressione perdita fluidodinamiche primario | Pa | - 0,79 | - 0,31 | 0,50 | 1,34 | 2,26 | 3,91 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 19,38 | 18,60 | 13,61 | 9,51 | 6,24 | 3,87 | [35] |

Nel caso di cui in 8.1 la depressione all'imbocco del canale da fumo relativo (a valle dell'interruttore di tiraggio) presenta il valore di 8 Pa.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,017 | 0,018 | 0,015 | 0,013 | 0,010 | 0,007 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,031 | 0,018 | 0,015 | 0,013 | 0,010 | 0,007 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 334,23 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media fumi | $kg/m^3$ | 0,98 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 18 516 | 10 683 | 8 983 | 7 719 | 5 955 | 4 144 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,038 | 0,040 | 0,041 | 0,042 | 0,044 | 0,047 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,026 | 0,030 | 0,032 | 0,033 | 0,036 | 0,039 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 63,9 | 37,3 | 31,3 | 26,8 | 20,3 | 13,3 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 14,7 | 8,6 | 7,2 | 6,2 | 5,0 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 7,7 | 5,6 | 5,0 | 4,5 | 3,8 | 3,8 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,13 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,21 | 0,31 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 329,09 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 331,60 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 2,21 | 0,67 | 0,48 | 0,36 | 0,22 | 0,11 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,44 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 8,06 | 4,91 | 3,47 | 2,56 | 1,53 | 0,74 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,09 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 329,09 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media | $kg/m^3$ | 0,99 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,9 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 16 047 | 9 259 | 7 785 | 6 690 | 5 161 | 3 591 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,033 | 0,036 | 0,037 | 0,038 | 0,041 | 0,044 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,027 | 0,032 | 0,033 | 0,034 | 0,037 | 0,041 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 50,0 | 29,6 | 24,9 | 21,3 | 16,2 | 10,6 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 10,0 | 5,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 3,0 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,12 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,30 | 0,71 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 325,03 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 327,02 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 4,1 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 7,0 | 0,3 | - 0,1 | - 0,3 | 0,0 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 3,85 | 0,88 | 0,38 | 0,00 | 0,23 | 0,17 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 9,84 | 5,53 | 3,90 | 2,87 | 1,69 | 0,80 | [35] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 329,09 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 0,99 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,9 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 16 047 | 9 259 | 7 785 | 6 690 | 5 161 | 3 591 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,033 | 0,036 | 0,037 | 0,038 | 0,041 | 0,044 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,027 | 0,032 | 0,033 | 0,034 | 0,037 | 0,041 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 50,0 | 29,6 | 24,9 | 21,3 | 16,2 | 10,6 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 10,0 | 5,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3,0 | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,12 | 0,18 | 0,20 | 0,23 | 0,30 | 0,71 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 325,03 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 327,02 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 4,1 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 7,0 | 0,3 | - 0,1 | - 0,3 | 0,0 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 3,85 | 0,88 | 0,38 | 0,00 | 0,23 | 0,17 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 9,84 | 5,53 | 3,90 | 2,87 | 1,69 | 0,80 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,031 | 0,049 | 0,063 | 0,076 | 0,086 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 325,03 | 310,62 | 305,28 | 302,46 | 300,82 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,00 | 1,05 | 1,07 | 1,08 | 1,08 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,69 | 1,04 | 1,34 | 1,59 | 1,79 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 9 628 | 15 184 | 19 855 | 23 869 | 26 966 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,034 | 0,031 | 0,030 | 0,029 | 0,028 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,031 | 0,028 | 0,026 | 0,025 | 0,024 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 29,7 | 45,5 | 58,0 | 68,4 | 76,2 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 5,5 | 7,0 | 8,2 | 9,1 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,15 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,11 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 320,70 | 309,02 | 304,34 | 301,82 | 300,04 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 322,81 | 309,80 | 304,81 | 302,14 | 300,42 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 319,89 | 308,74 | 304,21 | 301,75 | 299,95 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 3,78 | 2,41 | 1,87 | 1,58 | 2,34 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 2,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,48 | 0,07 | 0,28 | 0,46 | 0,63 | 0,99 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 10,03 | 9,54 | 5,83 | 3,71 | 2,30 | 1,35 | [35] |

Nel caso 3 di cui in 8.1 la depressione all'imbocco del relativo canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) presenta il valore di 6 Pa.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,014 | 0,013 | 0,007 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,014 | 0,027 | 0,007 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 367,99 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media fumi | $kg/m^3$ | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 0,90 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 2,5 | 0,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 9 600 | 9 119 | 8 786 | 8 610 | 16 270 | 4 144 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,041 | 0,041 | 0,041 | 0,041 | 0,039 | 0,047 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,031 | 0,032 | 0,032 | 0,032 | 0,027 | 0,039 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 33,5 | 31,8 | 30,6 | 30,0 | 56,4 | 13,3 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 7,7 | 7,3 | 7,1 | 6,9 | 13,0 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 5,2 | 5,1 | 4,9 | 4,9 | 7,2 | 3,8 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 041 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,14 | 0,31 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 358,07 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 362,91 | 293,15 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 0,55 | 0,50 | 0,46 | 0,45 | 1,88 | 0,11 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,69 | 0,06 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 3,97 | 3,58 | 3,32 | 3,19 | 5,73 | 0,74 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,05 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 358,07 | 293,15 | [21] |
| massa volumica media | $kg/m^3$ | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 0,91 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 1,9 | 0,4 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 8 320 | 7 903 | 7 615 | 7 462 | 14 101 | 3 591 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,037 | 0,037 | 0,037 | 0,038 | 0,034 | 0,044 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,032 | 0,033 | 0,033 | 0,033 | 0,028 | 0,041 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 26,6 | 25,3 | 24,3 | 23,9 | 44,3 | 10,6 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 5,3 | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 8,9 | 5,0 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,9 | 2,3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 041 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,19 | 0,19 | 0,20 | 0,[21] | 0,13 | 0,71 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 350,08 | 293,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 353,98 | 293,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 6,5 | 0,9 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 6,8 | 1,2 | 0,2 | - 0,1 | 0,4 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 0,95 | 0,77 | 0,58 | 0,39 | 2,59 | 0,17 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 4,46 | 4,02 | 3,73 | 3,58 | 6,93 | 0,80 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,016 | 0,031 | 0,046 | 0,059 | 0,087 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 310,83 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,11 | 1,05 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,32 | 0,63 | 0,93 | 1,22 | 1,87 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 4 992 | 9 734 | 14 303 | 18 780 | 27 241 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,040 | 0,034 | 0,032 | 0,030 | 0,028 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,037 | 0,031 | 0,028 | 0,026 | 0,024 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 15,2 | 30,0 | 43,1 | 55,2 | 76,9 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 5,0 | 5,2 | 6,6 | 9,2 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,28 | 0,14 | 0,10 | 0,08 | 0,11 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 309,03 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 309,91 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 293,15 | 308,84 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 4,05 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 2,0 | - 0,3 | 0,0 | 0,1 | - 0,1 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,12 | - 0,05 | 0,08 | 0,23 | 0,18 | 1,04 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 4,96 | 4,84 | 4,22 | 3,74 | 3,40 | 3,01 | [35] |

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 la temperatura di uscita risulta pari a 9 °C contro una temperatura di rugiada di 7 °C. La velocità minima ammissibile nella CCR risulta pari a 0,7 m/s, mentre il minimo valore calcolato risulta 0,9 m/s.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,026 | 0,024 | 0,021 | 0,017 | 0,013 | 0,007 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,040 | 0,024 | 0,021 | 0,017 | 0,013 | 0,007 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 326,88 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 1,00 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 3,3 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 0,9 | 0,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 23 978 | 14 732 | 12 347 | 10 525 | 7 946 | 4 539 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,037 | 0,039 | 0,040 | 0,040 | 0,042 | 0,046 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,025 | 0,028 | 0,029 | 0,030 | 0,033 | 0,038 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 81,6 | 51,2 | 43,1 | 36,8 | 27,6 | 14,9 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 18,8 | 11,8 | 9,9 | 8,5 | 6,4 | 5,0 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 5,7 | 4,8 | 4,5 | 4,1 | 3,6 | 3,1 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,08 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,23 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 322,59 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 324,71 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 3,58 | 1,15 | 0,82 | 0,60 | 0,35 | 0,12 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,69 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 14,26 | 8,55 | 6,00 | 4,36 | 2,49 | 0,81 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,06 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 322,59 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 1,01 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,5 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,4 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 20 781 | 12 768 | 10 700 | 9 122 | 6 887 | 3 934 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,032 | 0,034 | 0,035 | 0,036 | 0,038 | 0,043 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,026 | 0,029 | 0,030 | 0,032 | 0,034 | 0,040 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 63,5 | 40,3 | 34,1 | 29,2 | 22,0 | 11,8 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 12,7 | 8,1 | 6,8 | 5,8 | 5,0 | 5,0 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 041 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,42 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 319,59 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 321,08 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | 268,15 | [33] |
| pressione statica | Pa | 6,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 7,0 | 0,3 | - 0,1 | - 0,3 | 0,0 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 6,25 | 1,46 | 0,61 | - 0,04 | 0,36 | 0,18 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 17,16 | 9,63 | 6,76 | 4,90 | 2,78 | 0,87 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,040 | 0,064 | 0,085 | 0,102 | 0,116 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 319,59 | 297,79 | 289,56 | 285,22 | 282,78 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,02 | 1,09 | 1,13 | 1,14 | 1,15 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,88 | 1,32 | 1,70 | 2,02 | 2,26 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 12 468 | 20 129 | 26 549 | 32 022 | 36 154 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,032 | 0,030 | 0,029 | 0,028 | 0,027 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,029 | 0,026 | 0,024 | 0,023 | 0,022 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 37,9 | 58,7 | 75,2 | 88,8 | 98,8 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5,0 | 7,0 | 9,0 | 10,7 | 11,9 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | 1 041 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 316,01 | 296,38 | 288,74 | 284,67 | 282,07 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 317,78 | 297,08 | 289,15 | 284,94 | 282,42 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 315,32 | 296,19 | 288,65 | 284,62 | 282,01 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 6,38 | 4,18 | 3,27 | 2,76 | 4,12 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita primario | - | - 2,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,80 | 0,11 | 0,46 | 0,76 | 1,03 | 1,61 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 17,54 | 16,75 | 10,48 | 6,75 | 4,24 | 2,51 | [35] |

Questo dimensionamento comporta buone condizioni di funzionamento della CCR; essa può quindi essere ritenuta accettabile ai fini della presente norma.

### *B.2 - Canna collettiva ramificata in collegamento (RT = 0,10 [m K/W])*

L'esempio prende in esame una canna collettiva ramificata in conglomerato con un'altezza totale di 20 m. La canna è al servizio di 6 caldaie murali (5 piani + 1) di potenza termica unitaria pari a 24 kW ubicate una per piano. È installata all'interno dell'edificio e inserita nella muratura perimetrale e viene considerata esposta all'esterno per il 33% della superficie (la porzione oltre il tetto è completamente all'esterno). Le sezioni interne del secondario e del primario sono rettangolari e rispettivamente pari a 15 x 20 cm e 20 x 25 cm. Per le resistenze termiche di parete del primario e del secondario va tenuto presente che sono inserite in una struttura di muratura per cui la resistenza termica va aumentata di conseguenza. Si utilizzano quindi rispettivamente i valori 0,133 m K/W e 0,142 m K/W. Per quanto riguarda la temperatura esterna anch'essa va mediata secondo lo stesso coefficiente (33% della superficie esposta all'esterno) come anche il coefficiente liminare esterno. L'installazione prevista è in prossimità del mare nel nord Italia ad una quota geodetica di 0 m e con una temperatura di progetto (prospetto 2) pari a 0 °C che mediata dà 13 °C (con una temperatura interna di 20 °C).

### *B.2.1 - Dati*

| | | | Riferimento formule |
|---|---|---|---|
| Temperatura ambiente | K | 293,15 | |
| Altezza geodetica | m | 0,0 | |
| Costante dell'aria | J/(kg K) | 288,0 | |
| Capacità termica massica dell'aria | J/(kg K) | 1 004,6 | |
| Coefficiente liminare esterno CCR | W/(m$^2$ K) | 11,7 | [10] |
| Coefficiente liminare esterno c.d.f. | W/(m$^2$ K) | 8,00 | |
| | | | |
| numero di piani collegati alla CCR | - | 5 + 1 | |
| Fattore di correzione per temperatura non costante | - | 0,5 | |
| Coefficiente di sicurezza fluidodinamiche | - | 1,2 | |
| | | | |
| Potere calorifico del gas | MJ/kg | 50 | |
| Costante dei fumi | J/(kg K) | 300 | |
| | | | |
| Forma del primario/secondario | Rettangolare | | |
| Lato della sezione interna del secondario | m | 0,15 | |
| Lato della sezione interna del secondario | m | 0,20 | |
| Lato della sezione interna del primario | m | 0,20 | |
| Lato della sezione interna del primario | m | 0,25 | |
| Lato della sezione esterna | m | 0,56 | |
| Lato della sezione esterna | m | 0,30 | |
| Fattore di correzione superficie perimetrale per il calcolo del fattore di raffreddamento | - | 0,75 | |
| | | | |
| Rugosità del primario/secondario | m | 0,002 | |
| Resistenza termica di parete del secondario | m K/W | 0,133 | |
| Resistenza termica di parete del primario | m K/W | 0,142 | |

segue nella pagina successiva

| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| continua dalla pagina precedente | | | | | | | | |
| Diametro interno canali da fumo | m | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | [8] |
| Diametro esterno canali da fumo | m | 0,132 | 0,132 | 0,132 | 0,132 | 0,132 | 0,132 | [8] |
| Altezza dei canali da fumo | m | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | |
| Sviluppo dei canali da fumo | m | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | |
| Rugosità dei canali da fumo | m | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | |
| Resistenza termica di parete canale da fumo | $(m^2 K)/W$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Coefficiente perdita localizzata canali da fumo | - | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,22 | |
| Coefficiente perdite localizzata immissione secondario | - | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | 0,92 | |
| Altezza tratti primario e secondario | m | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | |
| Sezione dell'apertura ventilazione | $m^2$ | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | |
| Sezione di passaggio dell'interruttore di tiraggio | $m^2$ | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | 0,010 | |
| Coefficiente perdite fluidodinamiche aperta di ventilazione | - | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| Coefficiente perdite fluidodinamiche dell'interruttore di tiraggio | - | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| | | | | | | | | |
| Portata termica | W | 24 000 | | | | | | |
| Rendimento di combustione | % | 90 | | | | | | |
| Eccesso d'aria | % | 64 | | | | | | |
| Portata massica dei prodotti della combustione | kg/s | 0,014 | | | | | | |
| Temperatura dei prodotti della combustione | K | 453 | | | | | | |
| Viscosità dinamica dei prodotti della combustione | Pa s | 1,80E-05 | | | | | | |
| Capacità termica massima dei prodotti della combustione | J/(kg K) | 1 040 | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| altezza geodetica | m | 0 | | | | | | |
| pressione atmosferica | Pa | 97 000 | | | | | | |
| massa volumica aria esterna | $kg/m^3$ | 1,15 | | | | | | [3] |

### *B.2.2 - Risultati*

Nel caso 1 di cui in 8.1 (tutte le caldaie accese al massimo del carico) l'esempio evidenzia depressioni all'imbocco del canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) con valori compresi tra 6 e 13 Pa in condizioni di regime stazionario, maggiori di 1 + 3 Pa richiesti rispettivamente per l'ingresso nel locale e nell'interruttore di tiraggio.

Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,024 | 0,020 | 0,017 | 0,018 | 0,014 | 0,017 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,038 | 0,034 | 0,033 | 0,029 | 0,028 | 0,031 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 347 | 352 | 357 | 362 | 365 | 360 | [21] |
| massa volumica media fumi | $kg/m^3$ | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,92 | 0,92 | 0,93 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 3,3 | 3,0 | 2,8 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 22 757 | 20 736 | 19 130 | 17 656 | 16 898 | 18 332 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 62 | 57 | 53 | 50 | 48 | 51 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 14 | 13 | 12 | 11 | 11 | 12 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 341 | 346 | 350 | 354 | 357 | 352 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 344 | 349 | 353 | 358 | 361 | 356 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 2,7 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,9 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 13,4 | 10,6 | 8,6 | 7,0 | 6,2 | 7,7 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,06 | | | | | | [38] |

Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 341 | 346 | 350 | 354 | 357 | 352 | [21] |
| massa volumica media | $kg/m^3$ | 0,970 | 0,958 | 0,947 | 0,935 | 0,928 | 0,940 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 13 277 | 12 098 | 11 161 | 10 301 | 9 859 | 10 696 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 50 | 45 | 42 | 38 | 37 | 40 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 9 | 8 | 7 | 7 | 6 | 7 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,26 | 0,42 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 331 | 334 | 337 | 340 | 342 | 332 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 336 | 340 | 343 | 347 | 349 | 341 | [33] |
| pressione statica | Pa | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 10 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 2,39 | 0,28 | - 0,05 | 0,00 | 0,00 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 2,52 | 1,78 | 1,10 | 1,06 | 0,98 | 1,49 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 15,6 | 12,3 | 10,0 | 8,1 | 7,2 | 9,0 | [35] |

## Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,038 | 0,072 | 0,104 | 0,134 | 0,162 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 331 | 329 | 328 | 327 | 327 | [21] |
| massa volumica media | $kg/m^3$ | | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | 1,01 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,8 | 1,6 | 2,3 | 2,9 | 3,5 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 10 327 | 19 736 | 28 417 | 36 429 | 44 098 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 37 | 70 | 99 | 124 | 148 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | | 5 | 9 | 13 | 17 | 20 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | | 3 | 5 | 6 | 6 | 7 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,21 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,16 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 324 | 324 | 324 | 324 | 322 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 328 | 326 | 326 | 326 | 325 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 323 | 323 | 324 | 324 | 322 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 5 | 4 | 4 | 4 | 7 | [34] |
| coefficente perdite localizzata uscita primario | - | - 0,97 | - 0,03 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,34 | 0,16 | 0,99 | 1,92 | 2,99 | 5,39 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 13,1 | 12,7 | 8,4 | 5,0 | 2,7 | 1,5 | [35] |

Nel caso 2 di cui in 8.1 (solo la caldaia più bassa accesa al minimo del carico 9,6 kW, 0,014 kg/s e 365 K all'uscita del generatore) la depressione all'imbocco del relativo canale da fumo (a valle dell'interruttore di tiraggio) presenta il valore di 9 Pa.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,018 | 0,017 | 0,013 | 0,011 | 0,009 | 0,009 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,031 | 0,017 | 0,013 | 0,011 | 0,009 | 0,009 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 333 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | |
| massa volumica media fumi | $kg/m^3$ | 1,00 | 1,13 | 1,13 | 1,13 | 1,13 | 1,13 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 2,7 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 19 213 | 10 095 | 8 073 | 6 565 | 5 496 | 4 849 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 53 | 30 | 24 | 20 | 16 | 14 | [29] |
| coefficiente liminare interno | $W/(m^2 K)$ | 12 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | $W/(m^2 K)$ | 7 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 040 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,12 | 0,16 | 0,17 | 0,19 | 0,23 | 0,26 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 328 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 331 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 1,9 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 8,8 | 4,3 | 2,8 | 1,8 | 1,3 | 1,0 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,05 | | | | | | [38] |

PRONTUARIO TECNICO

Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 328 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 1,008 | 1,129 | 1,129 | 1,129 | 1,129 | 1,129 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 11 210 | 5 890 | 4 710 | 3 830 | 3 207 | 2 829 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 42 | 21 | 16 | 13 | 10 | 8 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 7 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 040 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,25 | 0,38 | 0,48 | 0,59 | 0,70 | 1,33 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 321 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 324 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | [33] |
| pressione statica | Pa | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 2,36 | - 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 1,74 | 0,27 | 0,19 | 0,13 | 0,09 | 0,10 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 10,2 | 4,8 | 3,0 | 2,0 | 1,4 | 1,1 | [35] |

Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,031 | 0,069 | 0,062 | 0,073 | 0,082 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 321 | 307 | 302 | 300 | 298 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,03 | 1,08 | 1,10 | 1,10 | 1,11 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,7 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 8 719 | 13 300 | 16 963 | 19 942 | 22 436 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 31 | 48 | 60 | 70 | 79 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5 | 6 | 8 | 10 | 11 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,24 | 0,19 | 0,17 | 0,16 | 0,24 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 315 | 305 | 301 | 299 | 297 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 318 | 306 | 302 | 299 | 298 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 314 | 305 | 301 | 299 | 297 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | [34] |
| coefficente perdite localizzata uscita primario | - | - 0,97 | 0,11 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,23 | 0,20 | 0,41 | 0,60 | 0,78 | 1,31 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 7,9 | 7,7 | 4,3 | 2,5 | 1,4 | 0,8 | [35] |

Beretta caldaie

Nel caso 3 di cui in 8.1 (solo la caldaia più alta connessa con la CCR accesa al massimo del carico) la depressione all'imbocco del canale da fumo relativo (a valle dell'interruttore di tiraggio) presenta il valore di 7 Pa.

## Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,013 | 0,015 | 0,008 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,013 | 0,029 | 0,008 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 293 | 293 | 293 | 293 | 363 | 293 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 1,13 | 1,13 | 1,13 | 1,13 | 0,92 | 1,13 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 2,6 | 0,6 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 9 740 | 9 109 | 8 608 | 8 158 | 17 437 | 4 876 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 29 | 27 | 26 | 25 | 49 | 14 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 7 | 6 | 6 | 6 | 11 | 5 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 5 | 5 | 4 | 4 | 7 | 4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 040 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,17 | 0,12 | 0,26 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 293 | 293 | 293 | 293 | 355 | 293 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 293 | 293 | 293 | 293 | 359 | 293 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 1,7 | 0,1 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 4,0 | 3,5 | 3,1 | 2,8 | 6,8 | 1,0 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,06 | | | | | | [38] |

## Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 293 | 293 | 293 | 293 | 355 | 293 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 1,129 | 1,129 | 1,129 | 1,129 | 0,933 | 1,129 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 1,1 | 0,3 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 5 683 | 5 314 | 5 022 | 4 760 | 10 173 | 2 845 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 20 | 19 | 18 | 17 | 38 | 8 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | 5 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 040 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,47 | 0,26 | 1,32 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 293 | 293 | 293 | 293 | 341 | 293 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 293 | 293 | 293 | 293 | 348 | 293 | [33] |
| pressione statica | Pa | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 1 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 2,23 | 0,24 | - 0,07 | 0,00 | 0,03 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 0,40 | 0,29 | 0,19 | 0,20 | 1,09 | 0,10 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 4,4 | 3,8 | 3,4 | 3,1 | 7,8 | 1,1 | [35] |

Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,016 | 0,031 | 0,045 | 0,059 | 0,088 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 293 | 293 | 293 | 293 | 309 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,13 | 1,13 | 1,13 | 1,13 | 1,07 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,8 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 4 420 | 8 553 | 12 459 | 16 161 | 24 074 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | [24] |
| numero di Nusselt | - | | 15 | 30 | 45 | 57 | 84 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5 | 5 | 6 | 8 | 11 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,48 | 0,25 | 0,19 | 0,17 | 0,23 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 293 | 293 | 293 | 293 | 306 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 293 | 293 | 293 | 293 | 307 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 293 | 293 | 293 | 293 | 305 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | [34] |
| coefficente perdite localizzata uscita primario | - | - 0,97 | - 0,04 | 0,11 | 0,13 | 0,08 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,06 | 0,03 | 0,17 | 0,35 | 0,55 | 1,56 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 4,2 | 4,1 | 3,4 | 2,9 | 2,6 | 2,4 | [35] |

Nei casi previsti in 8.2 e 8.3 (solo la caldaia più bassa accesa al massimo del carico con temperature esterne pari a 13 °C) la temperatura di uscita risulta pari a 22 °C contro una temperatura di rugiada di 7 °C. La velocità minima nella CCR risulta pari a 0,8 m/s, mentre il valore minimo è pari a 0,7 m/s.

Canali da fumo

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica di aria parassita | kg/s | 0,024 | 0,021 | 0,016 | 0,013 | 0,011 | 0,008 | [16] |
| portata massica di fumi | kg/s | 0,038 | 0,021 | 0,016 | 0,013 | 0,011 | 0,008 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | 342 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | [21] |
| massa volumica media fumi | kg/m$^3$ | 0,97 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 3,2 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,6 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 22 824 | 12 582 | 9 988 | 7 997 | 6 507 | 5 006 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 62 | 37 | 30 | 24 | 20 | 15 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 14 | 8 | 7 | 6 | 5 | 5 | [28] |
| coefficiente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 040 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,07 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,21 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 338 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 340 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | [33] |
| perdite di carico fluidodinamiche | Pa | 2,7 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | [26] |
| pressione statica | Pa | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | [34] |
| pressione effettiva ingresso canali da fumo | Pa | 13,2 | 6,5 | 4,1 | 2,6 | 1,8 | 1,0 | [35] |
| massimo errore di pressione relativa | Pa | 0,05 | | | | | | [38] |

Secondari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| temperatura fumi ingresso | K | 338 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | 0,980 | 1,158 | 1,158 | 1,158 | 1,158 | 1,158 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | 1,4 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | [23] |
| numero di Reynolds | - | 13 317 | 7 341 | 5 827 | 4 666 | 3 797 | 2 921 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| numero di Nusselt | - | 50 | 27 | 21 | 16 | 13 | 9 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | 9 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | 1 040 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | 1 005 | |
| fattore raffreddamento | - | 0,16 | 0,23 | 0,29 | 0,36 | 0,45 | 0,97 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | 330 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | [32] |
| temperatura media fumi | K | 334 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | [33] |
| pressione statica | Pa | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | [34] |
| coefficente perdita localizzata uscita secondario | - | 2,36 | - 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche secondario | Pa | 2,51 | 0,40 | 0,28 | 0,18 | 0,12 | 0,10 | [26] |
| pressione effettiva ingresso secondario | Pa | 15,3 | 7,2 | 4,5 | 2,9 | 1,9 | 1,1 | [35] |

Primari

| Grandezza | Unità di misura | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Valore | Riferimento formule |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| piano | | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | |
| portata massica fumi | kg/s | | 0,038 | 0,058 | 0,075 | 0,089 | 0,099 | [20] |
| temperatura fumi ingresso | K | | 330 | 310 | 303 | 299 | 297 | [21] |
| massa volumica media | kg/m$^3$ | | 1,00 | 1,07 | 1,09 | 1,11 | 1,12 | [22] |
| velocità media fumi | m/s | | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | [23] |
| numero di Reynolds | - | | 10 357 | 16 067 | 20 599 | 24 228 | 27 181 | [25] |
| fattore di attrito tubo ruvido | - | | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | [24] |
| fattore di attrito tubo liscio | - | | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | [24] |
| numero Nusselt | - | | 37 | 57 | 73 | 85 | 95 | [29] |
| coefficiente liminare interno | W/(m$^2$ K) | | 5 | 8 | 10 | 11 | 13 | [28] |
| coefficente globale scambio termico | W/(m$^2$ K) | | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | [30] |
| capacità termica massica fumi | J/(kg K) | | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | 1 040 | |
| fattore raffreddamento | - | | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,14 | [31] |
| temperatura fumi uscita | K | | 324 | 308 | 301 | 298 | 295 | [32] |
| temperatura media fumi | K | | 327 | 309 | 302 | 298 | 296 | [33] |
| temperatura di parete uscita | K | | 323 | 307 | 301 | 298 | 295 | [46] |
| pressione statica fumi | Pa | | 5 | 3 | 3 | 2 | 3 | [34] |
| coefficente perdite localizzata uscita primario | - | - 0,97 | 0,11 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | | |
| perdite di carico fluidodinamiche primario | Pa | - 0,34 | 0,29 | 0,60 | 0,87 | 1,13 | 1,90 | [26] |
| pressione effettiva ingresso primario | Pa | 12,3 | 11,9 | 6,9 | 4,1 | 2,4 | 1,3 | [35] |

Questo dimensionamento comporta buone condizioni di funzionamento della CCR; esso può essere ritenuto accettabile ai fini della norma.